Cliente ENEL Green Power S.p.A

Oggetto Integrazione e revisione di alcuni elaborati del progetto definitivo e dello studio d'impatto ambientale relativi all'impianto eolico 'Monte Porale' nei Comuni di Voltaggio (AL) e di Ronco Scrivia (GE) - Rapporto delle integrazioni per la componente RUMORE

Ordine Ordine EGP-03-08-2010-0013633 - Attingimento 4000256342 - ID 5619612

Note Inviato con lettera prot. n° B1011236

PUBBLICATO B1010212 (PAD - 1462158)

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

N. pagine 43 **N. pagine fuori testo** -

Data 06/04/2011

Elaborato ESS - Ziliani Roberto B1010212 3754 AUT, ESS - Lamberti Marco B1010212 3728 AUT, ESS - Bassi Roberto B1010212 3838 AUT

Verificato ESS - Sala Maurizio B1010212 3741 VER, SCE - Stigliano Paolo Giuseppe B1010212 4991 VER

Approvato SCE - Gatti Fabrizio (Project Manager) B1010212 114965 APP

Mod. RISM v. 04

Indice

1 PREMESSA E SCOPI 3

2 DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ 3

2.1 Analisi spettrale e componenti spettrali in bassa frequenza 3
2.1.1 Intervallo di frequenze considerato nello studio 4
2.1.2 Spettri sonori rilevati 4
2.1.3 Spettri sonori calcolati dal modello 6
2.2 Valutazione dell'impatto presso un'ulteriore postazione 18
2.2.1 Modalità di misura e strumentazione utilizzata 18
2.2.2 Risultati delle misure 19
2.2.3 Elaborazione dei dati 20
2.2.4 Valutazione dell'impatto del parco eolico 22
2.3 Analisi statistica del livello residuo misurato e stima dell'incertezza complessiva del procedimento 23
2.3.1 Premessa 23
2.3.2 Analisi statistica del livello di rumore residuo misurato 23
2.3.3 Stima dell'incertezza complessiva del procedimento 30
2.3.4 Considerazioni sui risultati ottenuti 40
2.4 Valutazione di una diversa tipologia di aerogeneratori 42

© Copyright 2011 by CESI. All rights reserved - Activity code AG10SRC026

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	06/04/2011	B1010212	Prima emissione

1 PREMESSA E SCOPI

Nell'ambito dell'iter approvativo dell'impianto eolico 'Monte Porale' nei Comuni di Voltaggio (AL) e Ronco Scrivia (GE), sono pervenute, da parte degli Enti preposti al rilascio delle autorizzazioni, alcune richieste di chiarimento e integrazione. In particolare, relativamente allo studio d'impatto ambientale (S.I.A. nel seguito), sono stati richiesti approfondimenti in relazione alle emissioni sonore dell'impianto, oggetto del presente rapporto.

2 DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ

L'attività si compone di integrazioni/approfondimenti dello studio già svolto i quali fanno capo alle seguenti richieste:

1. analisi spettrale del livello di rumore residuo e previsto, con riferimento al campo delle basse frequenze;
2. esecuzione di una campagna di misura del rumore residuo in prossimità del recettore posto nelle vicinanze di Tanadorso e valutazione dell'impatto acustico del parco su tale ricettore, mediante modellazione matematica;
3. analisi statistica del livello residuo misurato, stima dell'incertezza complessiva del procedimento utilizzato nella valutazione di impatto acustico e verifica del livello di confidenza per la non applicabilità del criterio differenziale;
4. esame comparativo di una diversa tipologia di aerogeneratori.

2.1 Analisi spettrale e componenti spettrali in bassa frequenza

La prima richiesta riguarda l'esplicitazione dei dati spettrali relativi alle misure eseguite e la realizzazione di mappe isofoniche del livello sonoro nelle diverse bande spettrali, in riferimento alle basse frequenze.

Si assume convenzionalmente come campo delle basse frequenze, l'intervallo 20÷200 Hz, al di sotto del quale si identifica un'ulteriore suddivisione, relativa alle bassissime frequenze, al di sotto dei 20 Hz.

In Tabella 1 sono riportate le frequenze limite e di centro banda standardizzate, relative al campo di interesse.

Il D.M.A. 16/03/1998, nella trattazione delle componenti tonali, conferma la definizione di "bassa frequenza" all'intervallo 20÷200 Hz.

La norma CEI EN 61400-11[1], al § A.3 circoscrive il campo dei "*rumori a bassa frequenza in un intervallo compreso tra 20 Hz e 100 Hz*"..

Le frequenze normalizzate limite e di centro banda per lo spettro in ottava ed 1/3 d'ottava nell'intervallo di interesse sono riportate nella tabella seguente.

[1] Norma Tecnica CEI EN 61400-11:2004-01 Seconda edizione "Sistemi di generazione a turbina eolica - Parte 11: Tecniche di misura del rumore acustico"
Norma Tecnica CEI EN 61400-11/A1:2007-01 "Sistemi di generazione a turbina eolica - Parte 11: Tecniche di misura del rumore acustico"

Tabella 1 - Bande di frequenza standardizzate

Banda n°	Bande di 1/1 ottava			Bande di 1/3ottava		
	Limite inferiore (Hz)	Frequenza centrale (Hz)	Limite superiore (Hz)	Limite inferiore (Hz)	Frequenza centrale (Hz)	Limite superiore (Hz)
11	11	16	22	9.8	12.5	14.1
12				14.1	16	17.8
13				17.8	20	22.4
14	22	31.5	44	22.4	25	28.2
15				28.2	31.5	35.5
16				35.5	40	44.7
17	44	63	88	44.7	50	56.2
18				56.2	63	70.8
19				70.8	80	89.1
20	88	125	177	89.1	100	112
21				112	125	141
22				141	160	178
23	177	250	355	178	200	224
24				224	250	282
25				282	315	355

2.1.1 Intervallo di frequenze considerato nello studio

Nell'ambito dello studio di impatto acustico sono stati presi in considerazione diversi intervalli di frequenza per la parte sperimentale e per le valutazioni modellistiche, sulla base delle specifiche caratteristiche della strumentazione e degli standard applicati.

- La strumentazione utilizzata per le misure di rumore residuo presso monte Porale (fonometro analizzatore B&K 2260 equipaggiato con microfono a condensatore B&K 4184 e set per esterni UA 1404) è stata impostata per l'acquisizione del rumore a partire dalla banda di frequenza 12.5 Hz, che rappresenta il limite inferiore consentito con il modulo applicativo BZ 7206 installato sullo strumento.
- L'algoritmo di calcolo previsionale utilizzato nello studio (ISO 9613-2) fornisce relazioni descrittive della propagazione sonora che si applicano nell'intervallo di bande d'ottava da 63 a 8k Hz.
- Lo standard di calcolo della potenza sonora degli aerogeneratori (CEI EN 61400-11:2004 e successivi aggiornamenti) precisa che (§ 6.1.2) *"i livelli di pressione sonora continui equivalenti nella banda di terzo di ottava devono essere determinati simultaneamente con frequenze centrali da 50 Hz a 10 kHz. Può essere pertinente misurare l'emissione di rumore a bassa frequenza di un aerogeneratore. In tali casi, è necessario un intervallo di frequenze più ampio, come discusso nell'Allegato A"*. Inoltre, al § 7.2.2.2 - Misure in banda di terzo di ottava, si precisa che *"si devono misurare, come minimo, le bande di terzo di ottava con frequenze centrali comprese tra 50 Hz e 10 kHz inclusi.* Conseguentemente, i report di prova degli aerogeneratori, che comunemente vengono forniti dai costruttori, recano lo spettro di potenza sonora nell'intervallo di frequenza indicato e non hanno informazioni alle frequenze inferiori.

2.1.2 Spettri sonori rilevati

Come richiesto, vengono forniti alcuni elementi di approfondimento, in relazione sia alla campagna di misura, che alle valutazioni modellistiche prodotte nello S.I.A..

Nella trattazione si farà riferimento ai dati anemometrici ricavati dalle acquisizioni in continuo presso le stazioni Enel n° 1406 Monte Porale e 1408 Monte Porale 2, in funzione al tempo della prima campagna (ottobre 2007); entrambe sono dotate di sensori alla quota di 15 m, in più la seconda ha un ulteriore sensore a quota 30 m[2]. L'ubicazione degli anemometri è riportata, assieme alla localizzazione delle postazioni di misura, in Figura 1. L'area tratteggiata indica l'area d'impianto.



Figura 1 - Sito di Voltaggio/Ronco Scrivia: ubicazione dei punti A, B, C, D, E, F di misura del rumore ambientale, degli anemometri di impianto e dell'area interessata dal progetto

L'elaborazione degli spettri è stata eseguita per le postazioni di misura A÷D, nelle quali nel 2007 sono stati condotti rilievi in continuo per più giorni con strumentazione automatica su tempi di misura elementari consecutivi di durata pari a 10'.
Nell'ambito di ciascun tempo di misura elementare sono stati memorizzati i valori di L_{eq} e dei percentili della distribuzione statistica del livello sonoro in termini globali, con ponderazione 'A', e spettrali, nell'intervallo di frequenza 12.5÷20k Hz. I singoli intervalli temporali di misura elementari, acquisiti in modo sincrono agli anemometri di impianto, sono stati associati alle classi di velocità del vento presso l'anemometro Enel 1408 "Monte Porale 2" a 30 m. Tali classi hanno ampiezza 1 m/s e sono centrate sui valori interi.
Nella Figura 2 si riportano gli spettri medi aritmetici in funzione della velocità del vento a 30 m; gli spettri sono limitati all'intervallo 12.5÷200 Hz, di interesse per le basse frequenze. Il dato di ciascuna banda spettrale è dato dalla media aritmetica dei singoli dati sui tempi di misura afferenti a ciascuna classe di velocità. I dati si riferiscono all'intero periodo di misura e comprendono quindi valori diurni e notturni: nella Tabella 2 si riporta il numero di intervalli elementari di 10' utilizzati per il calcolo dello spettro medio.

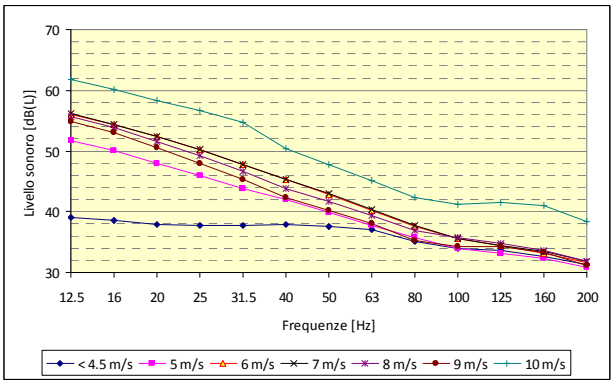
[2] L'anemometro n° 1406 è stato dismesso a settembre 2010.

Tabella 2 - Numero di intervalli temporali di 10' utilizzati per il calcolo degli spettri medi

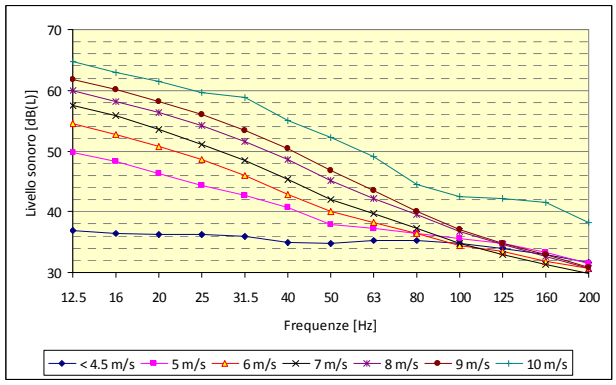
	< 4.5 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s
Punto A - Porale	531	328	382	210	90	20	7
Punto B - Tanadorso	335	86	144	122	67	19	7
Punto C – Cipollina	354	186	261	159	73	19	7
Punto D - Banchetta	507	298	370	210	90	20	7

Si nota un generale progressivo incremento delle bande spettrali al crescere della velocità del vento; lo spettro relativo alla classe "< 4.5 m/s" raccoglie tutte le fasi di assenza di vento o di vento inferiore alla velocità minima di funzionamento delle future turbine. La classe di velocità 10 m/s ha un ridotto numero di letture e si differenzia nettamente rispetto alle altre curve.

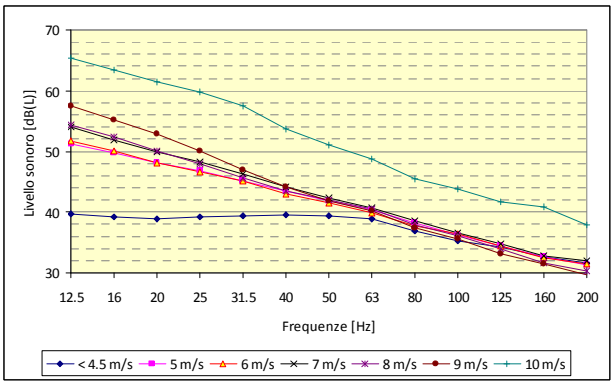
Punto A - Porale



Punto B - Tanadorso



Punto C – Cipollina



Punto D – Case Banchetta

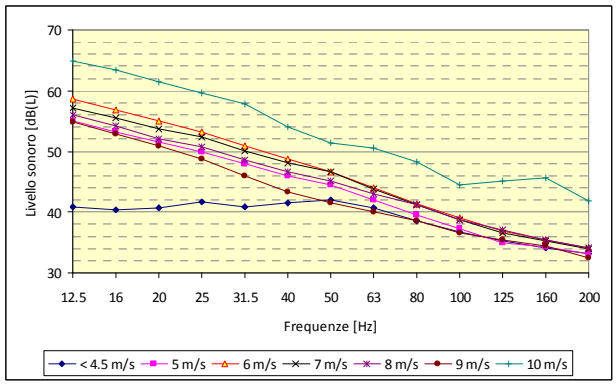


Figura 2 – Spettri medi di Leq nelle bande 12.5÷200 Hz per le diverse classi di velocità del vento

2.1.3 Spettri sonori calcolati dal modello

Il calcolo della rumorosità prodotta dal parco eolico di Monte Porale è stato condotto applicando l'algoritmo previsionale di cui alla UNI ISO 9613-2, contenuto tra gli standard di calcolo del software SoundPlan. Le caratteristiche emissive degli aerogeneratori che verranno installati sono state ricavate dai dati forniti dal fabbricante.

Gli aerogeneratori previsti, con altezza al mozzo di 55 m e diametro del rotore di 52 m, sono disponibili con diverse regolazioni, ottenute con un diverso settaggio dei parametri di funzionamento; in generale, configurazioni più "silenziose" consentono minori potenzialità produttive. Per il presente progetto è stata utilizzata la configurazione standard, caratterizzata da una potenza sonora di 103 dB(A) alla velocità di riferimento di 8 m/s a 10 m di altezza.

Nell'ambito della stessa regolazione, la potenza sonora dell'aerogeneratore è variabile in funzione della velocità del vento; dati sperimentali su macchinari analoghi mostrano un incremento della potenza di circa 1 dB per m/s di velocità del vento nel range 6.0÷8.4 m/s.
Le simulazioni modellistiche sono state condotte a due valori di velocità del vento a 10 m (6, 8 m/s), a cui corrispondono i seguenti valori di potenza sonora: 101, 103 dB(A). A velocità del vento superiori, l'emissione sonora della macchina non subisce sostanziali variazioni rispetto al dato a 8 m/s. In Tabella 3 è riportato lo spettro di potenza sonora ponderato 'A' utilizzato per le simulazioni alla velocità di 8 m/s. Nel modello, ciascun aerogeneratore è stato rappresentato come una sorgente puntuale isotropa omnidirezionale.

Tabella 3- Spettro di potenza sonora in bande di 1/3 d'ottava dell'aerogeneratore modellato

Sorgente	Livello Globale di potenza sonora [dB(A)]	Frequenza (Hz) Valori in dB(A)							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Aerogeneratore, velocità del vento 8 m/s a 10 m di altezza	**103.0**	73.6	83.4	88.7	92.3	92.2	90.7	89.9	74.9
		75.8	84.2	90.0	93.1	91.6	91.3	85.1	68.8
		78.8	85.3	92.7	93.6	91.0	90.7	80.5	65.5

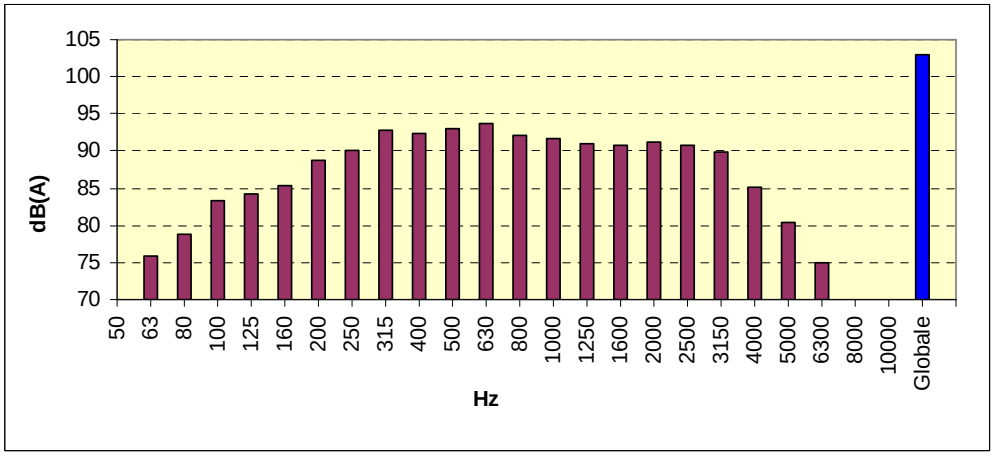


Figura 3 – Spettro di potenza sonora ponderato 'A' degli aerogeneratori standard modellati

Il calcolo prodotto per lo S.I.A. è stato effettuato con lo spettro riportato.
Per la valutazione delle basse frequenze sono state necessarie alcune operazioni che non rientrano nelle prerogative del software. Poiché esso non dispone della possibilità di gestire in modalità "mappe isofoniche" i livelli di singole bande spettrali, al fine di ottenere la rappresentazione richiesta, si è operato un calcolo su un reticolo di punti a maglia quadrata di passo 50 m disposti sull'area di interesse a 2 m dal suolo
I risultati del calcolo puntuale eseguito dal modello sono stati utilizzati all'interno del software di interpolazione Surfer della Golden Software e sono state ricalcolate le curve utilizzando l'algoritmi di interpolazione di Kriging.
Nel seguito, da Figura 4 ÷ Figura 13, si riportano le curve isofoniche relative alle bande di frequenza a 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160 e 200 Hz in dB lineari.
Relativamente alle bande da 25 a 40 Hz, per le quali non si dispone del dato ottenuto dall'applicazione della norma IEC 614000-11, si è assunta una forma spettrale tipica di questo tipo di sorgenti, ricavata da ulteriori dati forniti dal costruttore.
A scopo esemplificativo, nella seguente tabella si riportano i singoli valori per bande spettrali da 25 a 200 Hz per i sei punti di misura (Figura 1) calcolati dal modello.

Tabella 4 – Livelli sonori non ponderati calcolati dal modello per le bande spettrali da 25 a 200 Hz – Valori in dB non ponderati

	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz
Punto A – Case Porale	53.8	52.6	51.4	50.2	48.4	47.6	43.6	41.3	39.6	37.5
Punto B - Tanadorso	50.7	49.3	47.8	46.5	44.7	43.9	40.2	37.9	36.2	34.1
Punto C - Cipollina	48.5	47.3	46.2	45.8	44.4	43.8	38.4	36.2	34.4	32.9
Punto D – Case Banchetta	50.0	48.6	46.9	45.6	43.7	42.9	38.4	36.1	34.2	33.2
Punto E – Casa Sotto Rocche	47.2	46.2	45.2	44.9	45.2	44.6	42.3	40.0	38.3	38.0
Punto F	51.7	50.6	49.1	48.0	46.2	45.5	41.3	39.0	37.3	34.9

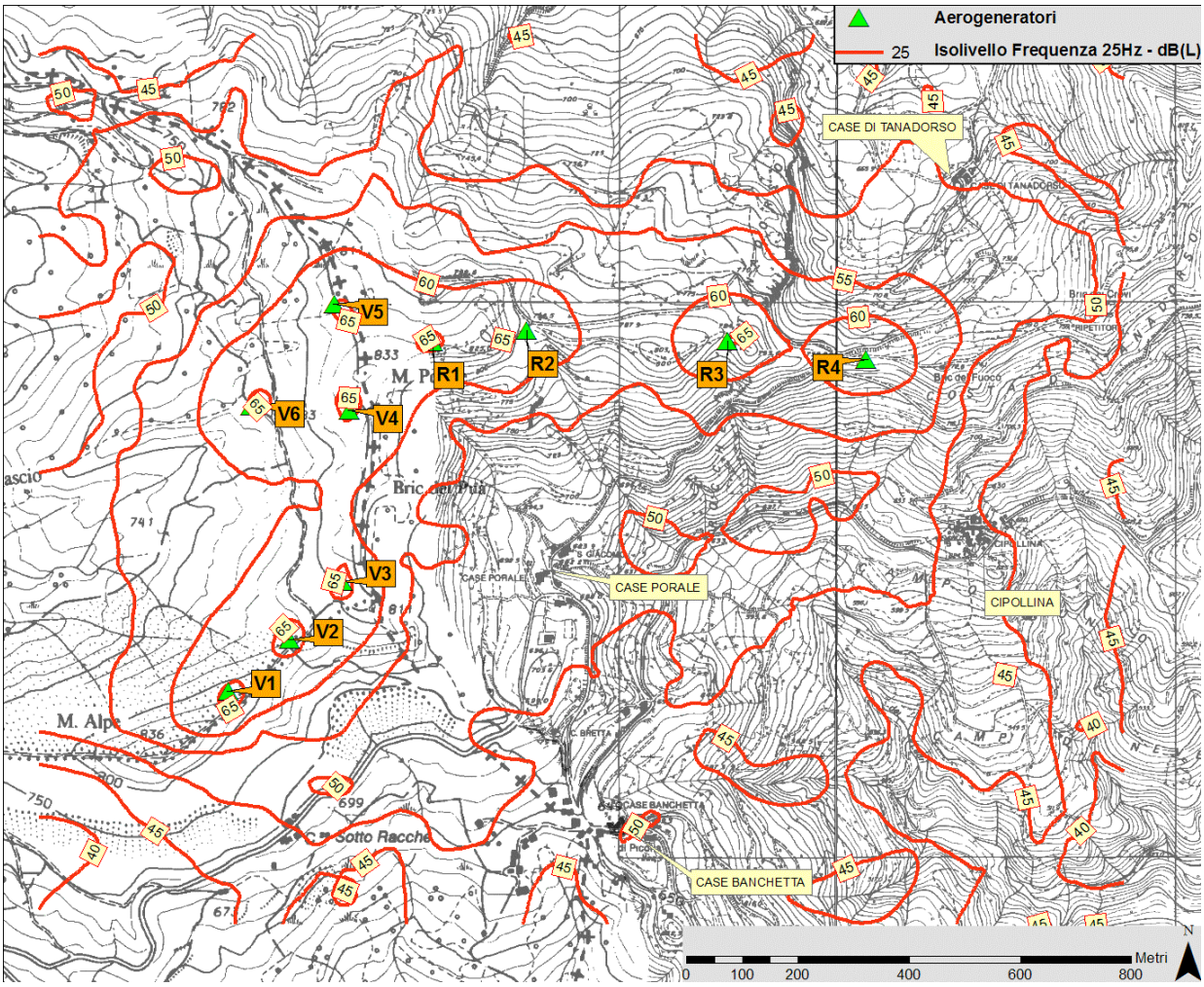


Figura 4 – Mappa isofonica del livello spettrale lineare - Banda di 1/3 d'ottava a 25 Hz

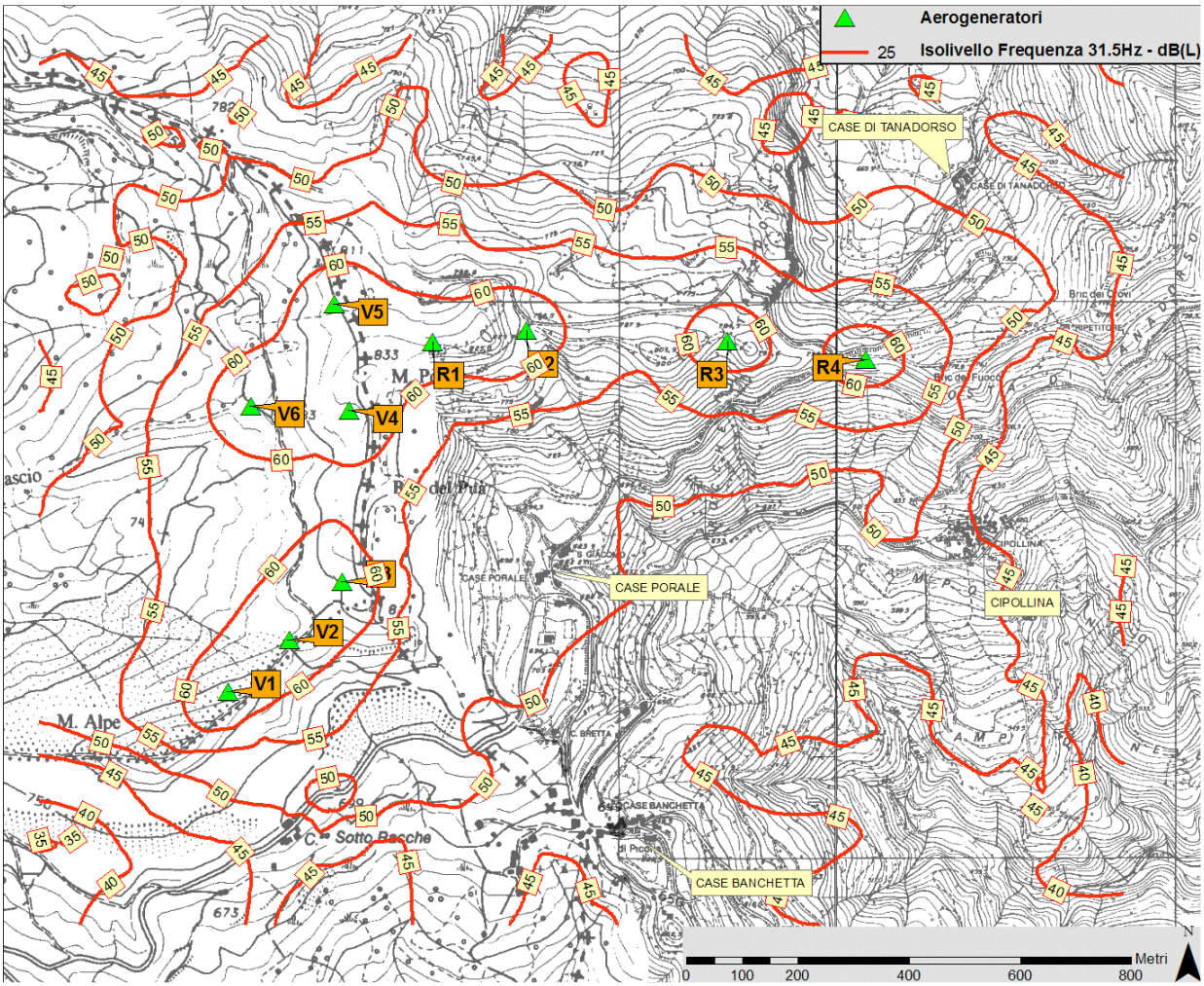


Figura 5 – Mappa isofonica del livello spettrale lineare - Banda di 1/3 d'ottava a 31.5 Hz

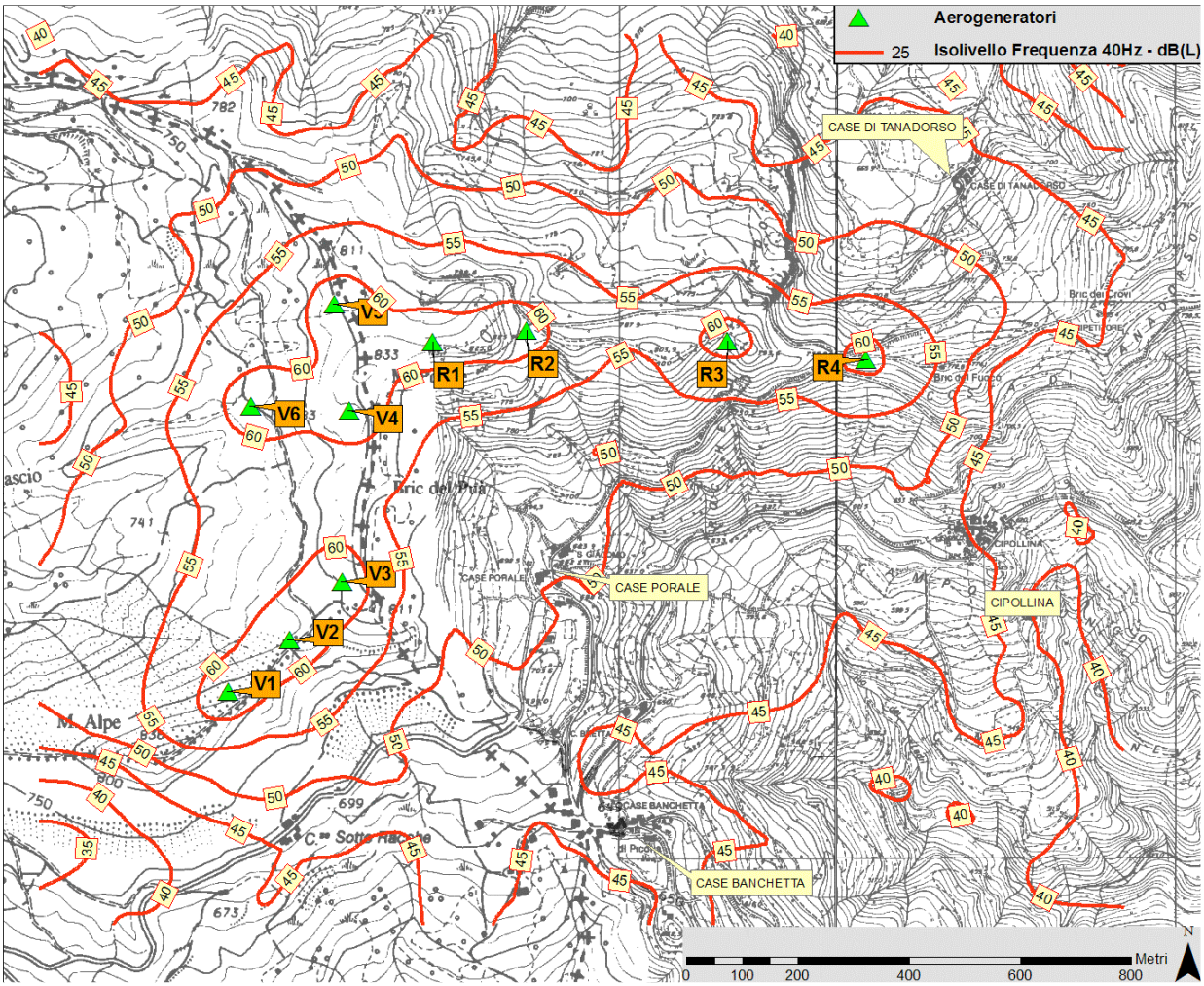


Figura 6 – Mappa isofonica del livello spettrale lineare - Banda di 1/3 d'ottava a 40 Hz

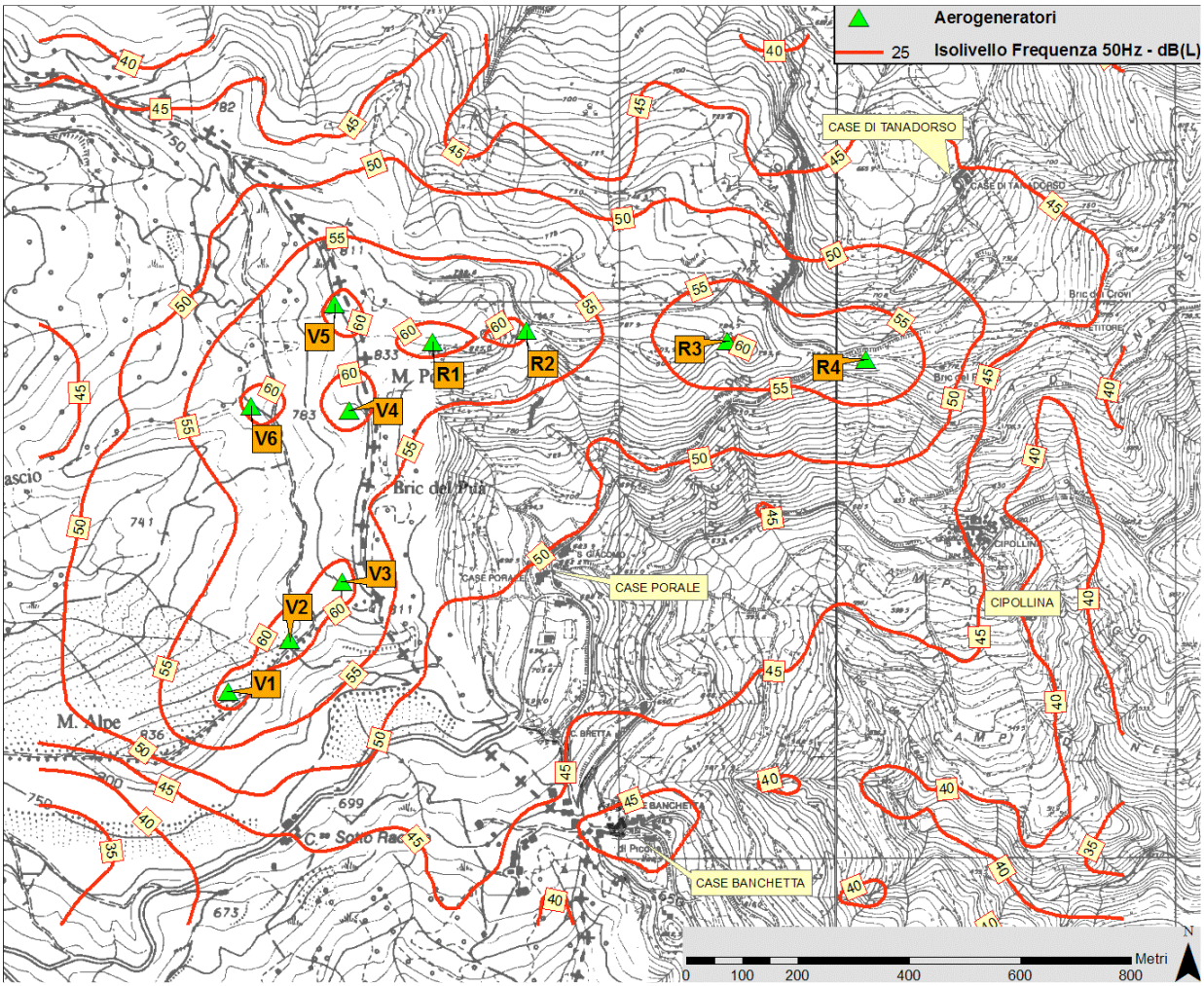


Figura 7 – Mappa isofonica del livello spettrale lineare - Banda di 1/3 d'ottava a 50 Hz

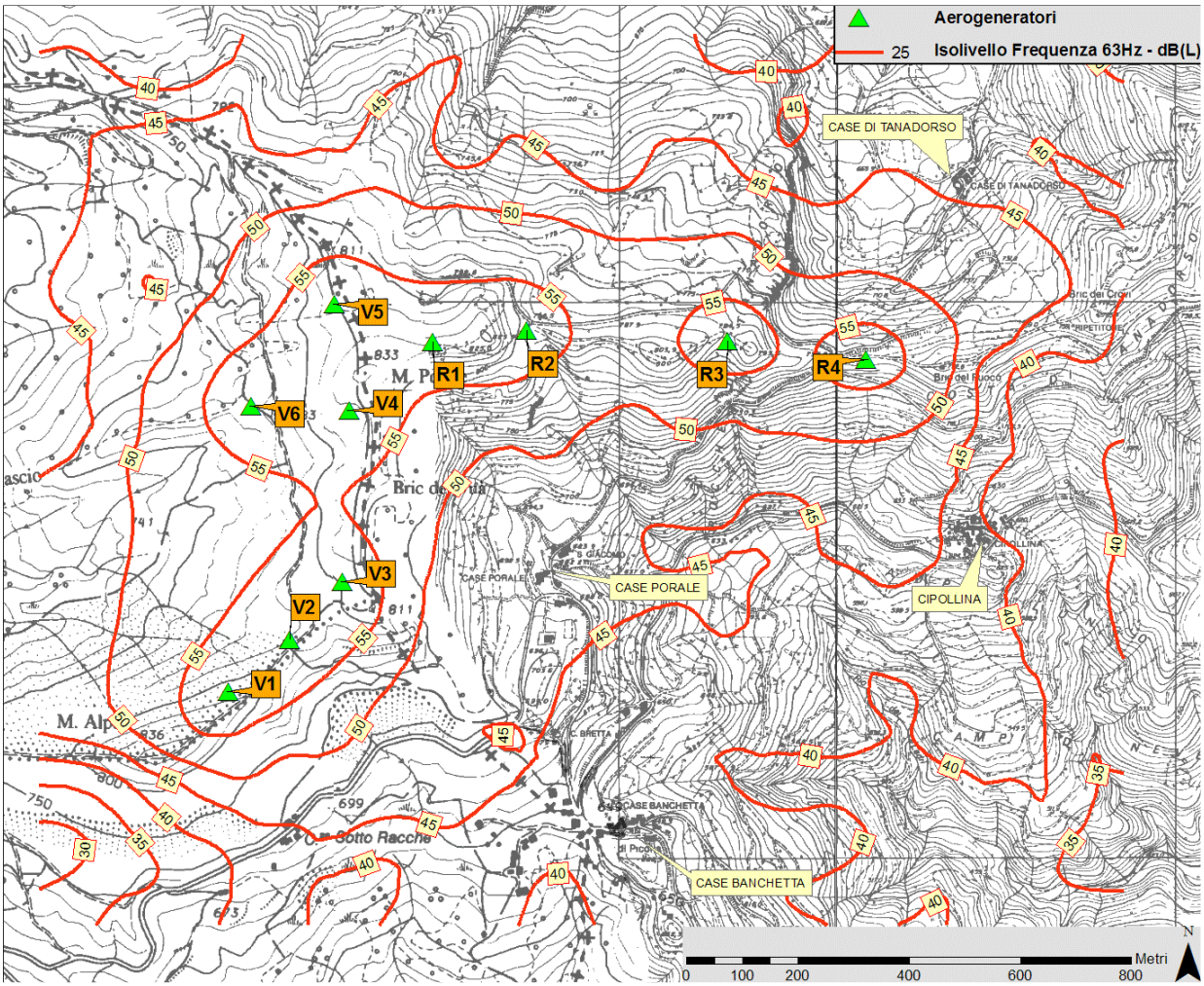


Figura 8 – Mappa isofonica del livello spettrale lineare - Banda di 1/3 d'ottava a 63 Hz

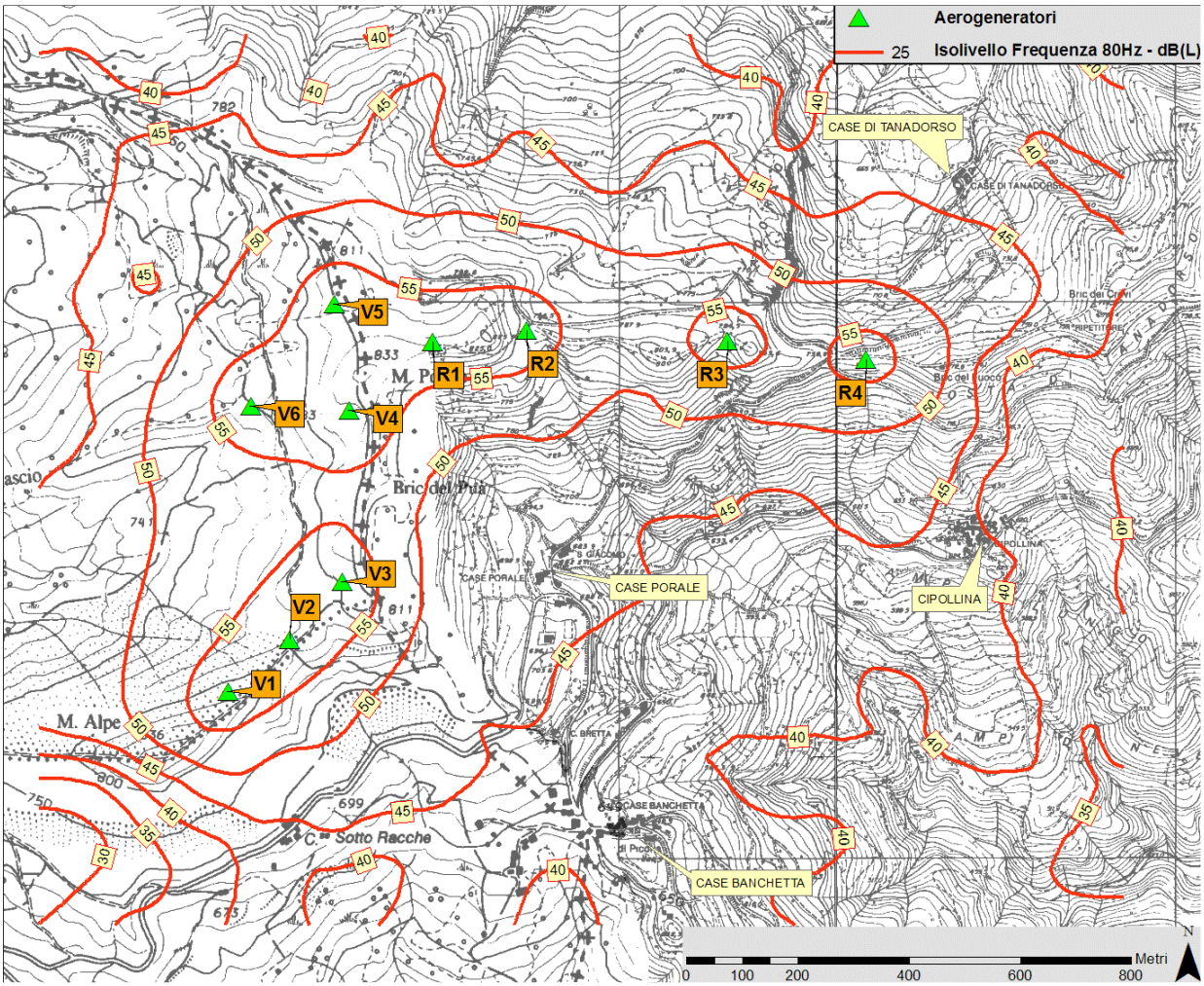


Figura 9 – Mappa isofonica del livello spettrale lineare - Banda di 1/3 d'ottava a 80 Hz

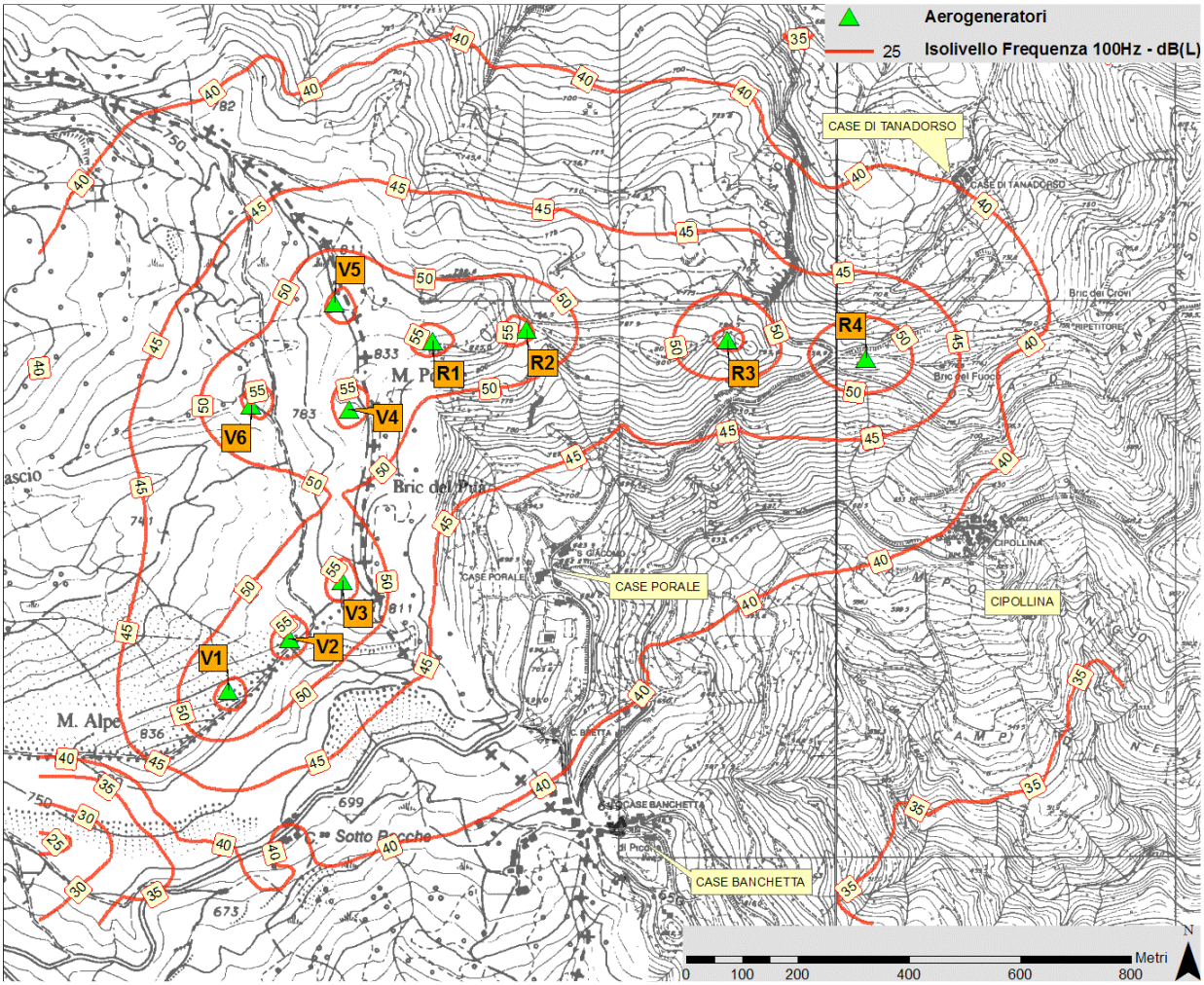


Figura 10 – Mappa isofonica del livello spettrale lineare - Banda di 1/3 d'ottava a 100 Hz

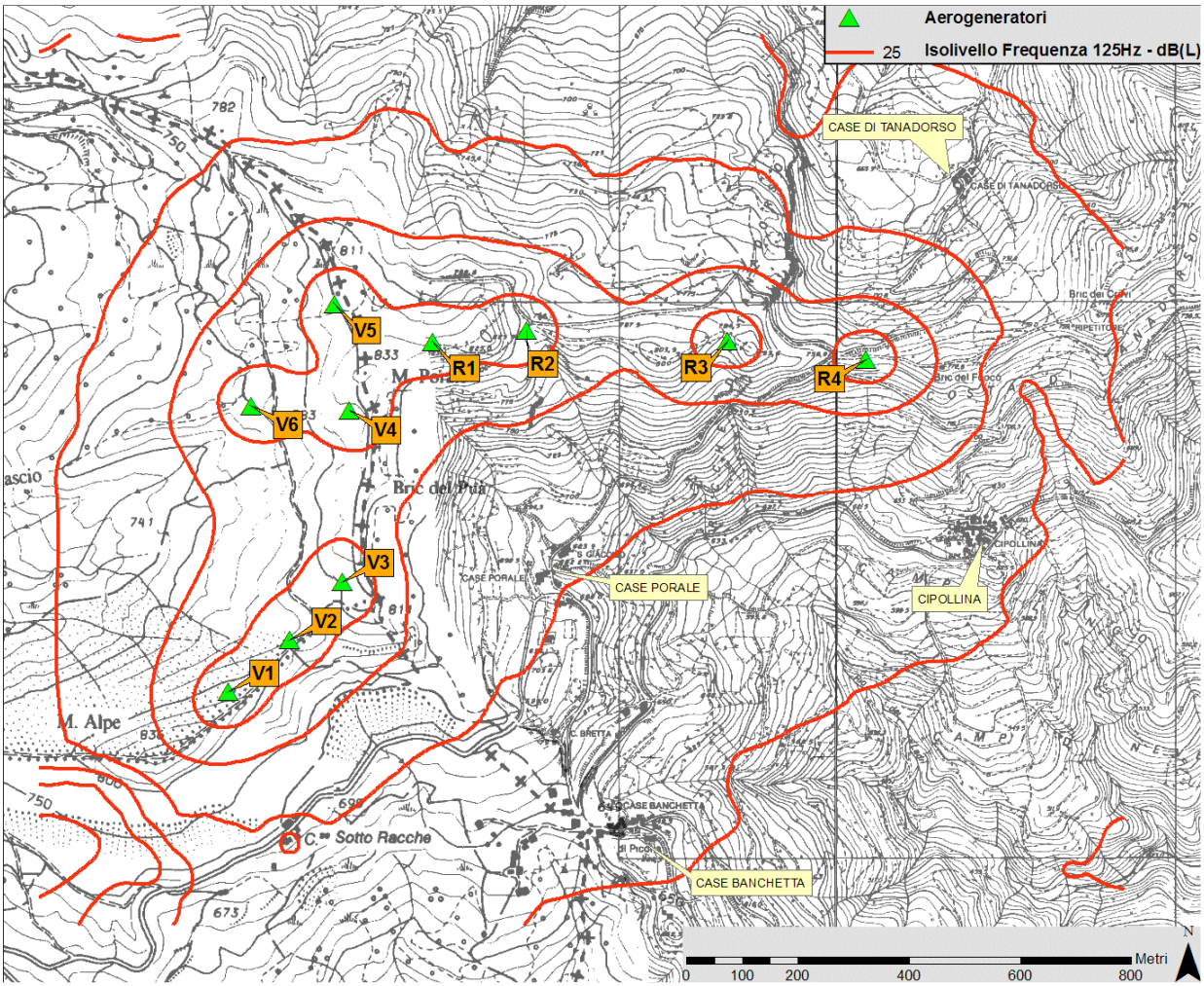


Figura 11 – Mappa isofonica del livello spettrale lineare - Banda di 1/3 d'ottava a 125 Hz

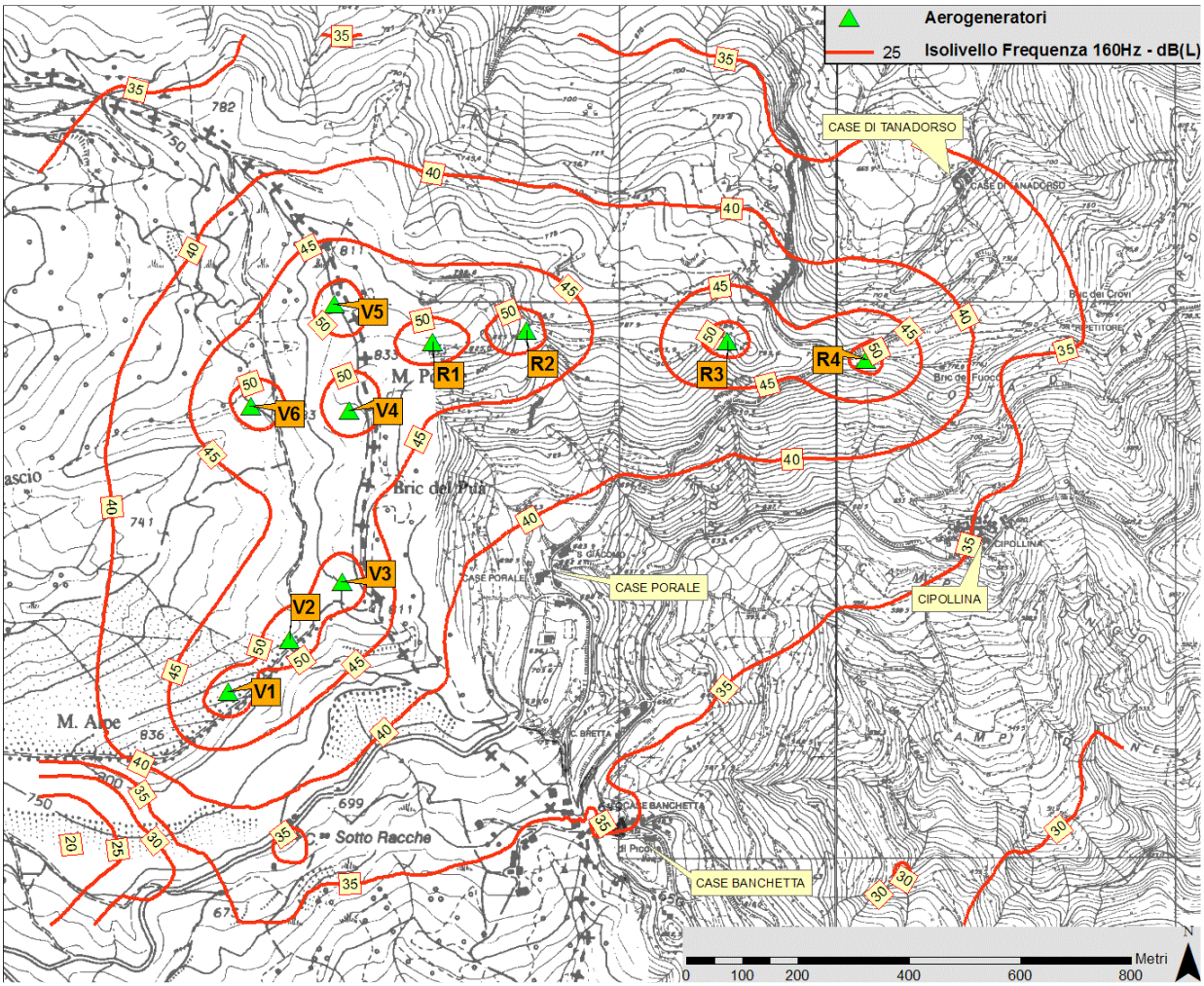


Figura 12 – Mappa isofonica del livello spettrale lineare - Banda di 1/3 d'ottava a 160 Hz

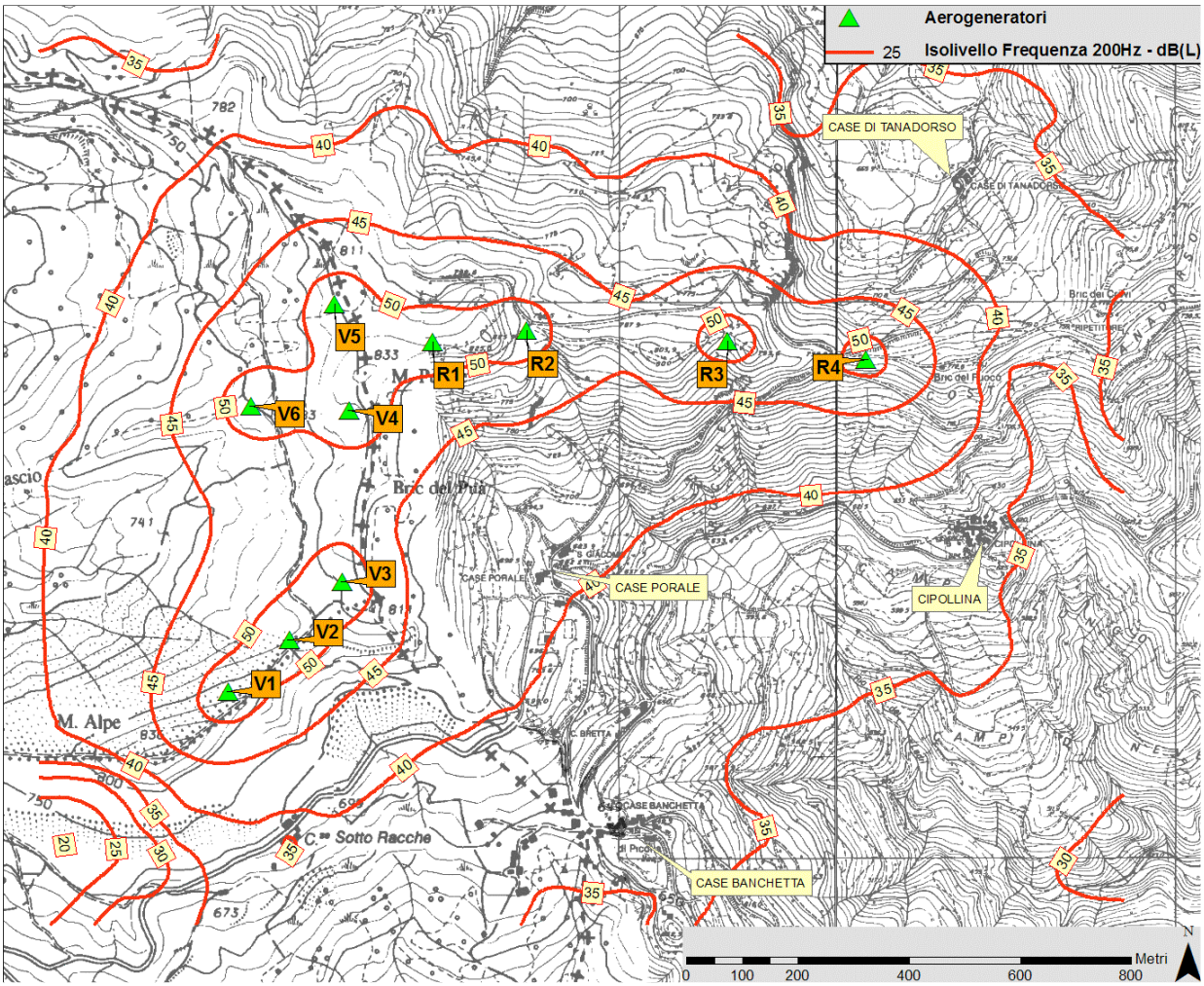


Figura 13 – Mappa isofonica del livello spettrale lineare - Banda di 1/3 d'ottava a 200 Hz

2.2 Valutazione dell'impatto presso un'ulteriore postazione

Il referente del comune di Ronco Scrivia ha segnalato la presenza di un ricettore abitativo, rappresentato dal punto di calcolo R01, prossimo alla torre R4, non indagato in fase di caratterizzazione del residuo. La postazione indicata dal referente comunale di Ronco Scrivia è indicata come Punto F.
In effetti, nell'ambito della campagna dell'ottobre 2007, non fu possibile collocare il punto di misura, in quanto il fabbricato stesso non era abitato con continuità e non risultava perciò possibile contattare i proprietari per ottenere il permesso all'installazione della strumentazione.
Nella campagna furono quindi indagate quattro postazioni di misura (Figura 1), collocate in posizione rappresentativa di altrettanti agglomerati (Case Banchetta, Case Porale, Cipollina, Tanadorso), che costituiscono i ricettori più prossimi all'impianto.
Successivamente in aggiunta alle postazioni A, B, C, D, su indicazione della Provincia di Alessandria, nell'ambito delle integrazioni richieste al documento presentato nel corso della fase di verifica di compatibilità ambientale, è stata selezionata un'ulteriore postazione di misura, indicata con E, appartenente al territorio comunale di Fraconalto (AL), indicata anch'essa in figura, nella quale le misure sono state condotte tra Marzo e Aprile 2009.
I rilievi integrativi richiesti presso il punto F sono stati eseguiti nel Marzo 2011.

Punto F: ubicato in posizione rappresentativa di un edificio abitato saltuariamente, in direzione della località Tanadorso, a circa 310 m dall'aerogeneratore più prossimo (R4). L'edificio è raggiungibile con una strada che si dirama dalla comunale per Tanadorso. La rumorosità del sito è influenzata dai rarissimi transiti di mezzi agricoli ed auto lungo la strada, dalle lavorazioni agricole e dalla presenza di animali al pascolo. L'altezza microfonica è stata posta pari a 2 m c.a. dal suolo.



Le coordinate geografiche (Roma 40, proiezione Gauss Boaga fuso Ovest) della postazione di misura F sono:

	Est	Nord	Quota
Punto F	1493641	4940894	730 m c.a.

2.2.1 Modalità di misura e strumentazione utilizzata

Presso la postazione F era stata inizialmente prevista una modalità di misura analoga a quella già utilizzata per le quattro postazioni A, B, C, D, ossia l'acquisizione in automatico per più giorni di tutti i parametri globali e spettrali, in modo sincrono all'anemometro d'impianto. È stato però necessario operare una modifica al piano sperimentale previsto, a causa dell'impossibilità di accesso all'area di pertinenza del ricettore per l'installazione della strumentazione per il monitoraggio[3]. Si è quindi impiegata una metodica alternativa, già utilizzata per il punto E, basata su rilievi di rumore a breve termine, articolati su una sessione continuativa di circa quattro ore in periodo diurno, con acquisizione di tutti i principali parametri acustici in termini globali e spettrali, con tempo di misura pari a 1'.
Le misure sono state eseguite in data 22/03/2011, in condizioni controllate, ossia con presenza di operatori, che hanno segnalato i principali eventi anomali intercorsi durante le misure.
I rilievi sono stati eseguiti con la catena di misura descritta nella seguente tabella, tarata e calibrata in accordo con quanto prescritto.

[3] I proprietari non hanno acconsentito all'installazione della strumentazione di misura

Tabella 5 - Catene strumentali utilizzate

Strumenti	N° di matricola	Estremi certificato taratura SIT
Fonometro B&K 2250	2611598	DANAK rapp. n° C0800948 del 14/02/2008
Microfono B&K 4189	2607758	
Calibratore Brüel & Kjær 4231	1780650	SIT center 062 certif. n° M1.10.CAL.267 of 22/10/2010

2.2.2 Risultati delle misure

La seguente figura riporta l'andamento temporale di $L_{Aeq,1'}$ ed $L_{A90,1'}$ relativi a tutto l'intervallo di misura. In Figura 15 è riportato l'andamento della velocità e direzione del vento al suolo, nei presso del fonometro, acquisito in continuo durante le misure del rumore, mediante un anemometro tipo Kestrel 4500. Vi sono stati alcune situazioni di superamento del limite di 5 m/s per la velocità del vento; i corrispondenti periodi di misura sono stati esclusi dal calcolo (marcatore "Escludi" con tratto rosso sul profilo di Figura 14). Sono stati esclusi dal calcolo anche alcuni intervalli ove si sono avuti transiti veicolari o sorvoli aerei.

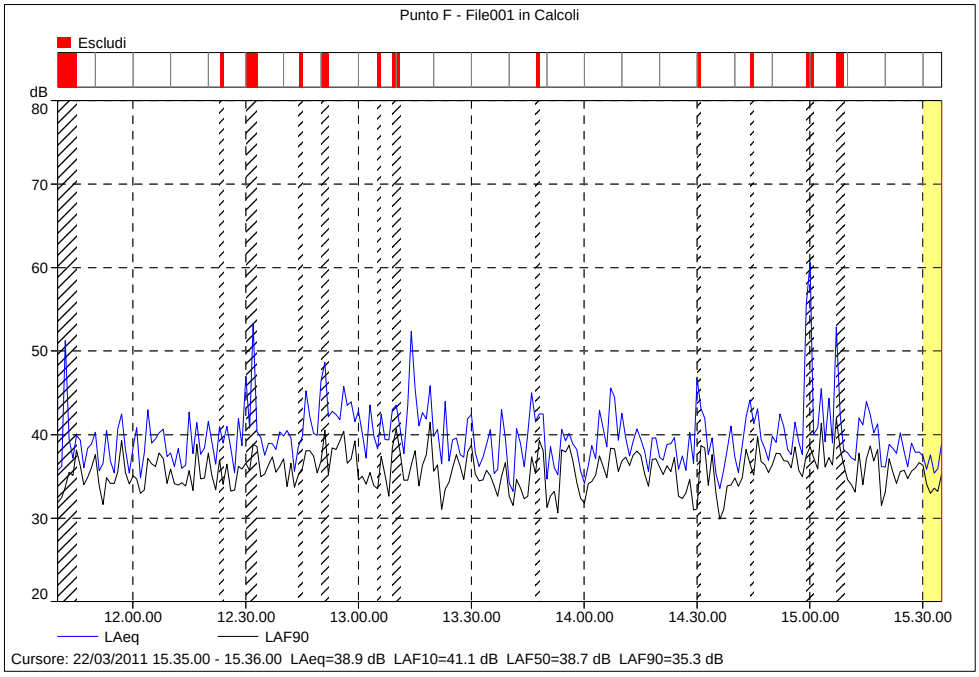


Figura 14 - Sito di Monte Porale - Punto F - Andamento temporale di L_{Aeq} e L_{A90} su base temporale 1'

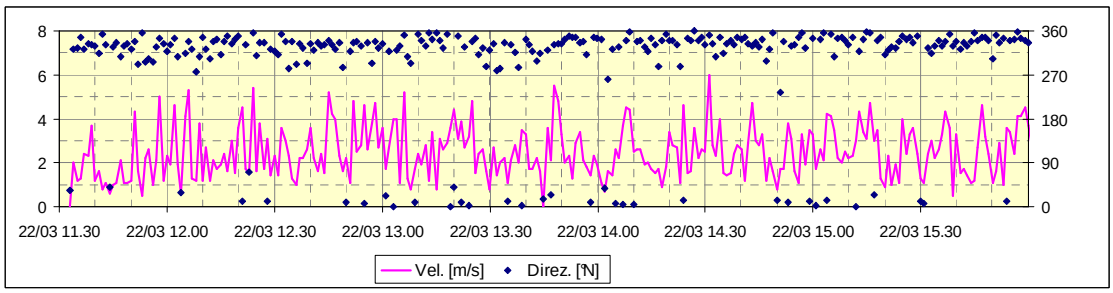


Figura 15 - Sito di Monte Porale - Punto F - Andamento temporale della velocità e direzione del vento al suolo presso la postazione di misura del rumore

2.2.3 Elaborazione dei dati

I dati sperimentali sono stati accorpati su tempi di misura di 10', sincroni all'anemometro Enel 1408 presente unico presente sul sito al momento dei rilievi. I rilievi spettrali sono stati eseguiti in bande di 1/3 d'ottava nell'intervallo 12.5 Hz ÷ 20 kHz.

I seguenti grafici riportano gli andamenti di rumore (L_{Aeq}, L_{A50} ed L_{A90}) e velocità/direzione del vento (stazione 1408 anemometri ad altezza 30 e 15 m), per la sessione di misura effettuata presso il punto F.

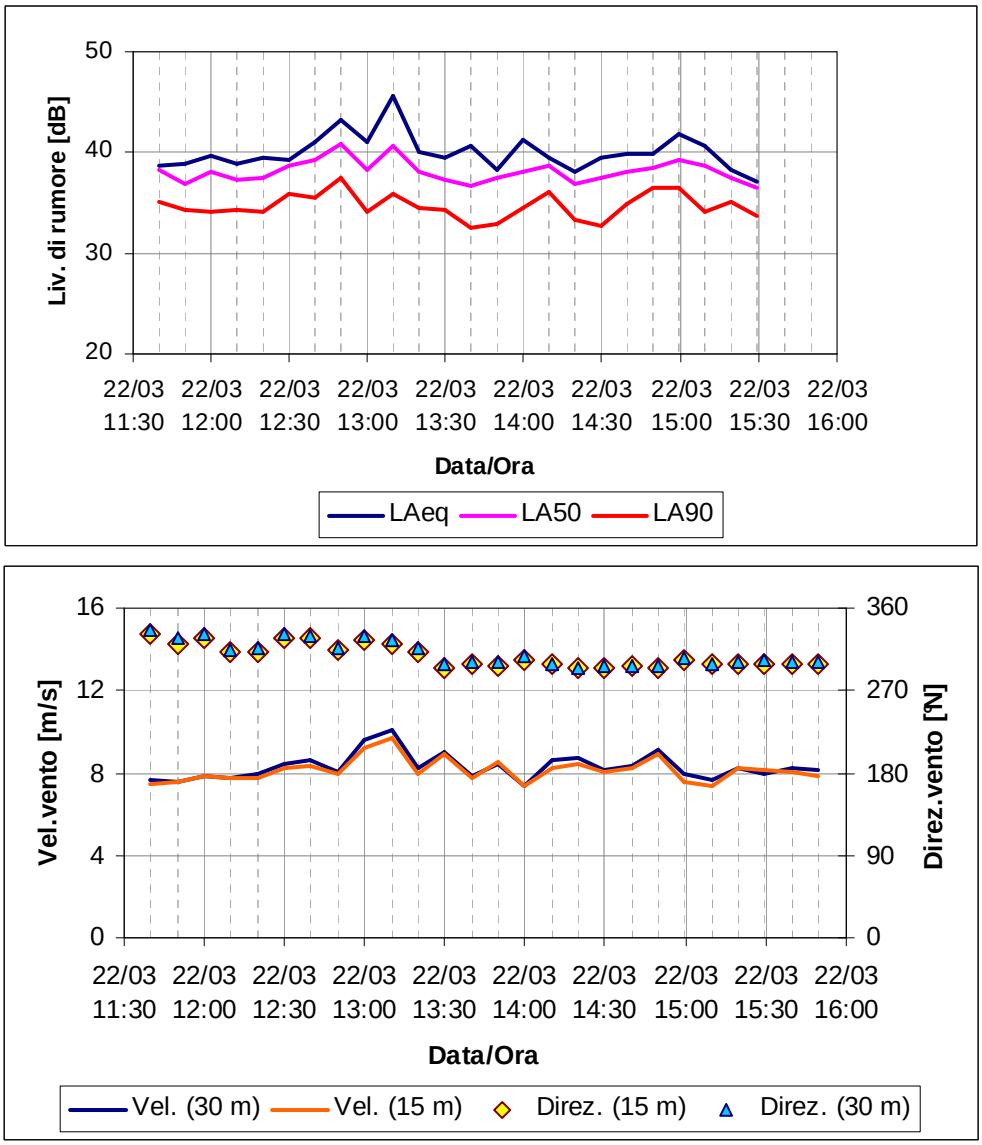


Figura 16 - Sito di Monte Porale - Punto F - andamenti temporali del livello di rumore e del vento su base temporale 10'

Nel corso dei rilievi, si è avuto vento quasi sempre superiore a 8 m/s a 30 m, con direzione da Nord-Ovest: come si può vedere, le misure anemometriche alle due quote mostrano un'ottima concordanza.

I valori di $L_{Aeq,10'}$, si attestano nell'intorno di 40 dB(A); il cosiddetto rumore di fondo, descritto dal parametro $L_{A90,10'}$, che non risente di eventi sporadici di breve durata, assume valori piuttosto stabili, attorno a 35 dB(A).

La seguente tabella riporta i valori di $L_{Aeq,10'}$ e dei principali percentili della distribuzione statistica relativamente agli intervalli temporali 10', al netto dei periodi esclusi.

Tabella 6 - Punto F - Livelli sonori su base temporale 10' – Valori in dB(A)

Ora	Durata (hh.m.ss)	LAeq	LA1	LA5	LA10	LA50	LA90	LA95	LA99
22/03/2011 11.45	0.05.00	**38.7**	38.7	38.7	38.7	38.7	38.7	38.7	38.7
22/03/2011 11.50	0.10.00	**38.9**	38.9	38.9	38.9	38.9	38.9	38.9	38.9
22/03/2011 12.00	0.10.00	**39.6**	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6
22/03/2011 12.10	0.10.00	**38.8**	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8
22/03/2011 12.20	0.09.00	**39.5**	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5
22/03/2011 12.33	0.07.00	**39.2**	39.2	39.2	39.2	39.2	39.2	39.2	39.2
22/03/2011 12.40	0.09.00	**41.0**	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0
22/03/2011 12.52	0.08.00	**43.2**	43.2	43.2	43.2	43.2	43.2	43.2	43.2
22/03/2011 13.00	0.08.00	**41.0**	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0
22/03/2011 13.11	0.09.00	**45.7**	45.7	45.7	45.7	45.7	45.7	45.7	45.7
22/03/2011 13.20	0.10.00	**40.0**	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
22/03/2011 13.30	0.10.00	**39.4**	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4
22/03/2011 13.40	0.09.00	**40.7**	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7
22/03/2011 13.50	0.10.00	**38.2**	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2
22/03/2011 14.00	0.10.00	**41.2**	41.2	41.2	41.2	41.2	41.2	41.2	41.2
22/03/2011 14.10	0.10.00	**39.5**	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5
22/03/2011 14.20	0.10.00	**38.0**	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0
22/03/2011 14.31	0.09.00	**39.5**	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5	39.5
22/03/2011 14.40	0.09.00	**39.8**	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8
22/03/2011 14.50	0.09.00	**39.9**	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9
22/03/2011 15.01	0.07.00	**41.9**	41.9	41.9	41.9	41.9	41.9	41.9	41.9
22/03/2011 15.10	0.10.00	**40.6**	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6
22/03/2011 15.20	0.10.00	**38.2**	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2
22/03/2011 15.30	0.06.00	**37.0**	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0

Si è quindi proceduto, sulla falsariga di quanto già fatto nello S.I.A., ad abbinare ciascun record temporale di rumore e vento, disponibili entrambi su base temporale 10'. Il dato di vento a 10 m dal suolo è stato calcolato dalla misura a 15 m dell'anemometro 1408, assumendo un profilo logaritmico con rugosità pari a 0.02 m.
Nelle seguenti tabelle sono riassunti, per classi di velocità del vento, i valori di L_{Aeq} calcolato, da utilizzare per l'attribuzione del rumore residuo nelle diverse condizioni anemometriche. Sono anche riportati alcuni parametri statistici del livello equivalente $L_{Aeq,10'}$ e dei percentili L_{A50} ed L_{A90}, relativamente al tempo di riferimento diurno.

Tabella 7 - Postazione F – _____ - Risultati dei rilievi di rumore residuo, valori in dB(A)

TR Diurno	**Velocità del vento a 10 m [m/s]**						
Parametro	**< 4.5**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
N° periodi di misura (10' cad.)	-	-	-	11	11	2	-
Valor medio di $L_{Aeq,10'}$	-	-	*37.8* (*)	40.3	39.1	43.4	*44.0* (*)
Dev. standard di di $L_{Aeq,10'}$	-	-	-	1.4	1.1	3.3	-
Media di $L_{A50,10'}$	-	-	-	38.1	37.8	39.5	-
Media di $L_{A90,10'}$	-	-	-	34.7	34.6	35.1	-
L_{Aeq}	**-**	**-**	***37.8*** (*)	**40.5**	**39.2**	**44.0**	***44.7*** (*)

(*) Valori ottenuti dall'interpolazione lineare dei valori di L_{Aeq}

2.2.4 Valutazione dell'impatto del parco eolico

La valutazione dell'impatto sul fabbricato indicato è stata effettuata assumendo come rappresentativo per questo ricettore il dato di rumore residuo acquisito presso il punto F.
Presso il punto di calcolo R01, collocato in corrispondenza dell'edificio, il livello calcolato dal modello per velocità del vento di 6 e 8 m/s a 10 m dal suolo vale rispettivamente 39.6 e 41.6 dB, come documentato nello S.I.A. e successive integrazioni
La seguente tabella riporta, per le due velocità del vento, il livello calcolato dal modello, il livello di rumore residuo misurato, il livello di immissione e l'incremento previsto del livello di immissione a seguito del funzionamento del parco.

Tabella 8 – Valutazione dell'impatto acustico del parco eolico presso la postazione R01 a velocità del vento di 6 e 8 m/s – TR Diurno - Valori in dB(A)

Velocità del vento a 10 m dal suolo	Livello di immissione specifica degli aerogeneratori (S.I.A.)	Livello di rumore residuo	Livello di immissione "post operam"	Incremento del livello di immissione
6 m/s	**39.6**	37.8	**41.8**	*2.2*
8 m/s	**41.6**	39.2	**43.6**	*2.0*

Secondo il piano di classificazione acustica comunale, il ricettore ricade in classe III, con limiti di immissione diurno e notturno pari rispettivamente a 60 e 50 dB(A). Assumendo il dato diurno come rappresentativo anche del periodo notturno, si conferma il pieno rispetto del limite di immissione in entrambi i tempi di riferimento, anche alla velocità di 8 m/s rappresentativa della massima emissione sonora degli aerogeneratori previsti a progetto. L'incremento del livello di immissione valutato in esterno al ricettore, appare inferiore al limite più restrittivo per il criterio differenziale, pari a + 3 dB.

2.3 Analisi statistica del livello residuo misurato e stima dell'incertezza complessiva del procedimento

2.3.1 Premessa

Lo studio di impatto acustico per l'impianto eolico Enel di Monte Porale è stato sviluppato nelle fasi indicate dallo schema a blocchi riportato in Figura 17.

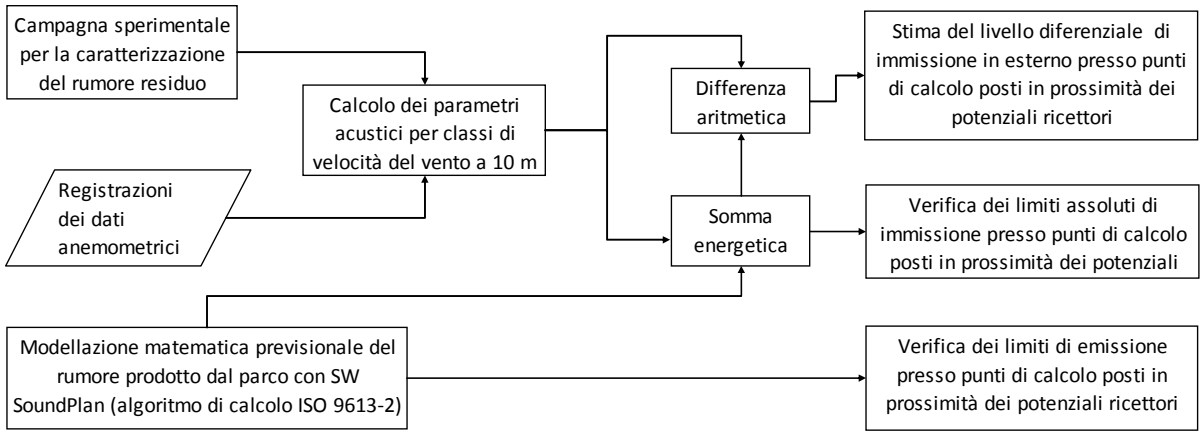


Figura 17 - Studio di impatto acustico del parco eolico - Schema operativo seguito

2.3.2 Analisi statistica del livello di rumore residuo misurato

L'elaborazione dei dati di rumore residuo misurati è stata svolta in funzione della velocità del vento. Poiché l'applicazione modellistica si sviluppa sulla base dei dati emissivi delle apparecchiature, fornita per le velocità del vento all'altezza standard di 10 m dal suolo, si è ritenuto opportuno riferire a tale parametro anche la stima del livello di rumore residuo. La velocità acquisita presso la postazione 1408 a 15 m è stata utilizzata per calcolare il valore della velocità all'altezza di 10 m, mediante la nota relazione:

$$v_{s\,tan\,dard} = v_{anem} \cdot \frac{\ln\left(\frac{Z_{s\,tan\,dard}}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_{anem}}{z_0}\right)}$$

ove si assume $Z_{standard}$ = 10 m, Z_{anem} = 15 m, V_{anem} è la velocità registrata dall'anemometro a 15 m e z_0 è la lunghezza di rugosità, espressa in m.

In particolare, il valore della rugosità, è stato ricavato da ciascuna coppia di valori di velocità acquisiti presso la stazione 1408 alle due quote, mediante la precedente relazione, trasformata assumendo z_0 come incognita.

Una volta calcolata la velocità standard del vento a 10 m per ciascun intervallo di misura, sono state definite n° 7 classi: < 4.5 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s, 10 m/s ed è stato operato il raggruppamento dei dati di rumore in funzione di tali classi.

Il risultato dell'elaborazione è rappresentato dalle tabelle riassuntive inserite nello SIA che riportano, per ognuna delle sette classi di velocità del vento, i dati statistici dei livelli di rumore in esse contenuti. Le tabelle, relative separatamente al tempo di riferimento diurno e notturno, sono riportate nel seguito.

In particolare sono riportati:

- il numero di periodi di misura di 10' afferenti alla classe;
- il valore medio aritmetico e la deviazione standard di $L_{Aeq,10'}$;
- il valore medio aritmetico di $L_{A50,10'}$ e di $L_{A90,10'}$;
- il valore medio energetico di $L_{Aeq,10'}$, indicato con "L_{Aeq}".

Tabella 9 - Postazione A – Case Porale - Risultati dei rilievi di rumore residuo, valori in dB(A)

TR Diurno	Velocità del vento a 10 m [m/s]						
Parametro	**< 4.5**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
N° periodi di misura (10' cad.)	299	165	135	47	19	6	1
Media aritmetica di $L_{Aeq,10'}$	38.3	39.8	41.0	39.3	38.5	43.1	43.1
Dev. standard di di $L_{Aeq,10'}$	4.4	4.7	4.6	4.0	2.6	2.7	-
Medio aritmetica di $L_{A50,10'}$	35.2	36.2	37.7	36.6	36.6	40.0	42.2
Medio aritmetica di $L_{A90,10'}$	32.4	33.3	34.5	33.8	34.6	38.1	40.8
Media energ. di $L_{Aeq,10'}$ - **L_{Aeq}**	**45.7**	**43.4**	**43.7**	**41.9**	**39.3**	**43.9**	**43.1**

TR Notturno	Velocità del vento a 10 m [m/s]						
Parametro	**< 4.5**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
N° periodi di misura (10' cad.)	200	72	35	23	18	-	-
Media aritmetica di $L_{Aeq,10'}$	36.8	37.7	37.5	36.2	36.7	-	-
Dev. standard di di $L_{Aeq,10'}$	2.2	2.5	2.6	1.1	1.6	-	-
Medio aritmetica di $L_{A50,10'}$	36.5	37.3	37.0	35.9	36.3	-	-
Medio aritmetica di $L_{A90,10'}$	34.5	35.4	35.0	33.8	34.0	-	-
Media energ. di $L_{Aeq,10'}$ - **L_{Aeq}**	**37.5**	**38.4**	**38.3**	**36.3**	**37.0**	**-**	**-**

Tabella 10 - Postazione B – Tanadorso - Risultati dei rilievi di rumore residuo, valori in dB(A)

TR Diurno	Velocità del vento a 10 m [m/s]						
Parametro	**< 4.5**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
N° periodi di misura (10' cad.)	226	90	102	40	18	6	1
Media aritmetica di $L_{Aeq,10'}$	37.3	37.3	37.2	39.5	39.7	42.2	40.4
Dev. standard di di $L_{Aeq,10'}$	5.0	4.7	4.5	4.9	2.7	3.6	-
Medio aritmetica di $L_{A50,10'}$	32.4	32.9	33.4	35.1	36.5	39.1	38.2
Medio aritmetica di $L_{A90,10'}$	28.6	29.7	30.6	32.3	33.6	35.8	34.8
Media energ. di $L_{Aeq,10'}$ - **L_{Aeq}**	**44.0**	**41.7**	**43.0**	**44.5**	**40.5**	**43.3**	**40.4**

TR Notturno	Velocità del vento a 10 m [m/s]						
Parametro	**< 4.5**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
N° periodi di misura (10' cad.)	142	42	29	23	18	-	-
Media aritmetica di $L_{Aeq,10'}$	32.3	33.6	34.8	35.1	35.9	-	-
Dev. standard di di $L_{Aeq,10'}$	4.2	3.3	1.5	1.5	1.8	-	-
Medio aritmetica di $L_{A50,10'}$	31.0	33.2	34.0	34.2	34.7	-	-
Medio aritmetica di $L_{A90,10'}$	28.6	30.9	31.6	32.2	32.8	-	-
Media energ. di $L_{Aeq,10'}$ - **L_{Aeq}**	**34.2**	**34.9**	**35.2**	**35.4**	**36.3**	**-**	**-**

Tabella 11 - Postazione C – Cipollina - Risultati dei rilievi di rumore residuo, valori in dB(A)

TR Diurno	Velocità del vento a 10 m [m/s]						
Parametro	**< 4.5**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
N° periodi di misura (10' cad.)	299	165	130	47	19	6	1
Media aritmetica di $L_{Aeq,10'}$	37.2	37.4	39.0	38.7	39.9	42.0	42.5
Dev. standard di di $L_{Aeq,10'}$	5.9	6.2	5.7	5.4	4.7	4.1	-
Medio aritmetica di $L_{A50,10'}$	31.8	32.2	34.6	34.5	35.0	36.1	38.0
Medio aritmetica di $L_{A90,10'}$	28.7	29.1	30.7	31.1	31.4	32.2	33.1
Media energ. di $L_{Aeq,10'}$ - **L_{Aeq}**	**43.6**	**43.8**	**43.6**	**44.2**	**42.1**	**43.7**	**42.5**

TR Notturno	Velocità del vento a 10 m [m/s]						
Parametro	**< 4.5**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
N° periodi di misura (10' cad.)	200	72	35	23	18	-	-
Media aritmetica di $L_{Aeq,10'}$	29.2	29.0	31.1	31.9	33.5	-	-
Dev. standard di di $L_{Aeq,10'}$	4.2	3.9	3.1	3.0	3.7	-	-
Medio aritmetica di $L_{A50,10'}$	27.9	27.7	29.8	31.0	32.6	-	-
Medio aritmetica di $L_{A90,10'}$	25.9	25.7	26.9	28.4	30.3	-	-
Media energ. di $L_{Aeq,10'}$ - **L_{Aeq}**	**31.3**	**31.4**	**32.3**	**33.1**	**35.0**	-	-

Tabella 12 - Postazione D – Case Banchetta - Risultati dei rilievi di rumore residuo, valori in dB(A)

TR Diurno	Velocità del vento a 10 m [m/s]						
Parametro	**< 4.5**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
N° periodi di misura (10' cad.)	293	165	134	47	19	6	1
Media aritmetica di $L_{Aeq,10'}$	43.5	44.9	44.9	45.3	44.3	49.5	43.6
Dev. standard di di $L_{Aeq,10'}$	7.4	7.8	7.0	7.6	5.5	8.1	-
Medio aritmetica di $L_{A50,10'}$	35.4	38.1	38.8	37.6	37.7	39.4	40.4
Medio aritmetica di $L_{A90,10'}$	31.1	33.0	34.5	33.6	33.8	36.3	36.0
Media energ. di $L_{Aeq,10'}$ - **L_{Aeq}**	**50.7**	**53.9**	**52.2**	**52.7**	**47.5**	**56.8**	**43.6**

TR Notturno	Velocità del vento a 10 m [m/s]						
Parametro	**< 4.5**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
N° periodi di misura (10' cad.)	200	72	35	23	18	-	-
Media aritmetica di $L_{Aeq,10'}$	33.0	35.6	34.5	31.2	31.5	-	-
Dev. standard di di $L_{Aeq,10'}$	7.8	5.3	5.5	4.4	4.1	-	-
Medio aritmetica di $L_{A50,10'}$	27.8	32.6	31.0	28.0	29.0	-	-
Medio aritmetica di $L_{A90,10'}$	25.8	29.9	28.4	25.8	26.9	-	-
Media energ. di $L_{Aeq,10'}$ - **L_{Aeq}**	**47.6**	**39.3**	**37.7**	**33.5**	**33.7**	-	-

Tabella 13 - Postazione E – Casa Sotto Rocche - Risultati dei rilievi di rumore residuo, valori in dB(A)

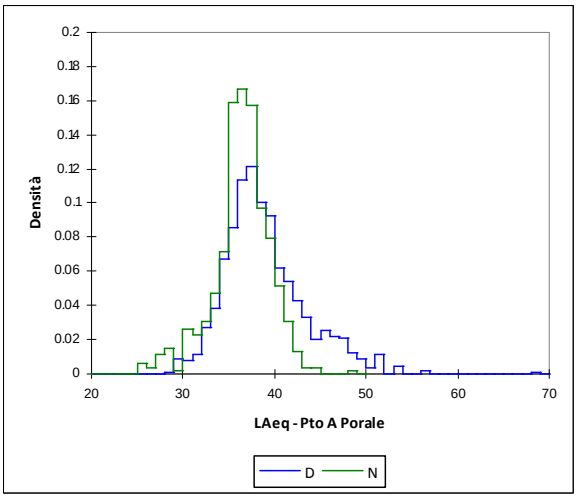
TR Notturno	Velocità del vento a 10 m [m/s]						
Parametro	**< 4.5**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
N° periodi di misura (10' cad.)	12	1	-	-	14.0	5.0	-
Media aritmetica di $L_{Aeq,10'}$	36.7	36.2	-	-	41.4	41.3	-
Dev. standard di di $L_{Aeq,10'}$	5.2	-	-	-	1.7	1.3	-
Medio aritmetica di $L_{A50,10'}$	29.8	29.3	-	-	38.5	38.2	-
Medio aritmetica di $L_{A90,10'}$	24.9	24.4	-	-	35.3	35.2	-
Media energ. di $L_{Aeq,10'}$ - **L_{Aeq}**	**39.2**	**36.2**	***39.3***(*)	***40.1***(*)	**41.7**	**41.5**	-

(*) Valori ottenuti dall'interpolazione lineare dei valori di L_{Aeq}

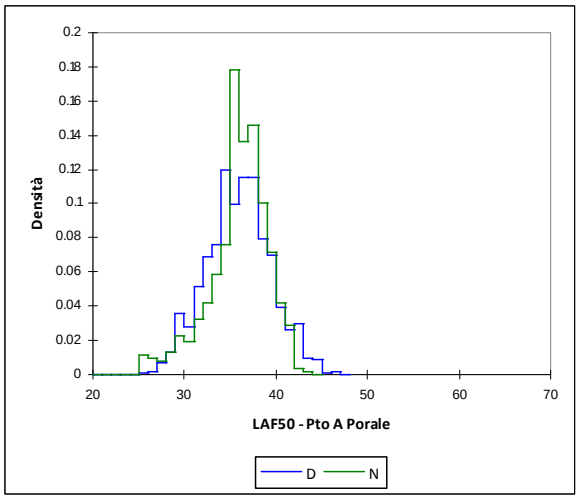
A titolo esemplificativo, in Figura 18 ÷ Figura 21 si riporta la distribuzione statistica dei valori di $L_{Aeq,10'}$, relativamente al tempo di riferimento diurno e notturno per l'insieme di tutte le misure, ed

alcune distribuzioni relative a singole classi di velocità del vento. Si riportano anche alcune distribuzioni del livello $L_{A50,10'}$(mediana della distribuzione statistica dei livelli relativi a ciascun periodo di misura).

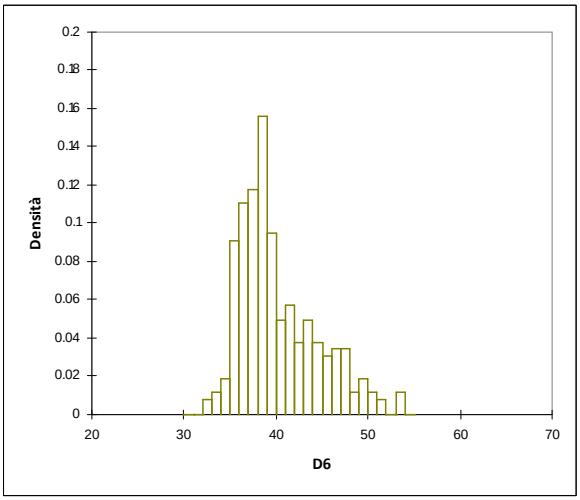
L_{Aeq} - Totale misure - TR Diurno e Notturno



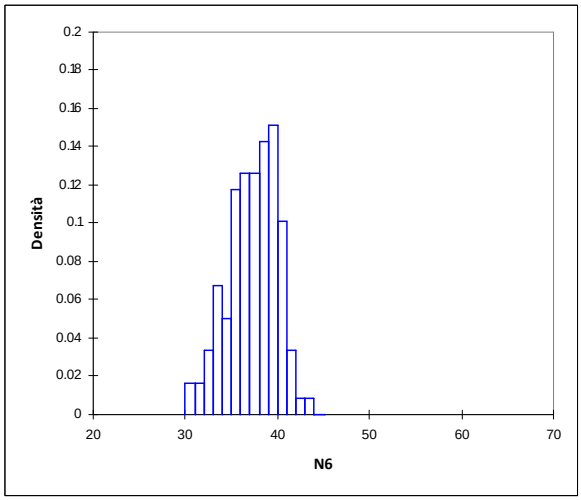
L_{A50} - Totale misure - TR Diurno e Notturno



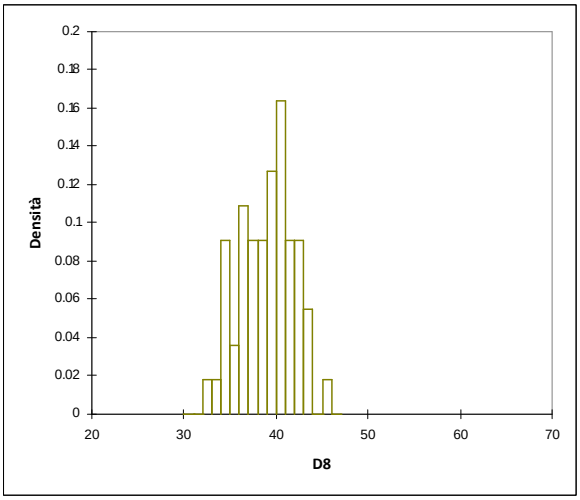
L_{Aeq} – TR Diurno – Classe di V_{30}: 6 m/s



L_{Aeq} – TR Notturno – Classe di V_{30}: 6 m/s



L_{Aeq} – TR Diurno – Classe di V_{30}: 8 m/s



L_{Aeq} – TR Notturno – Classe di V_{30}: 7 m/s

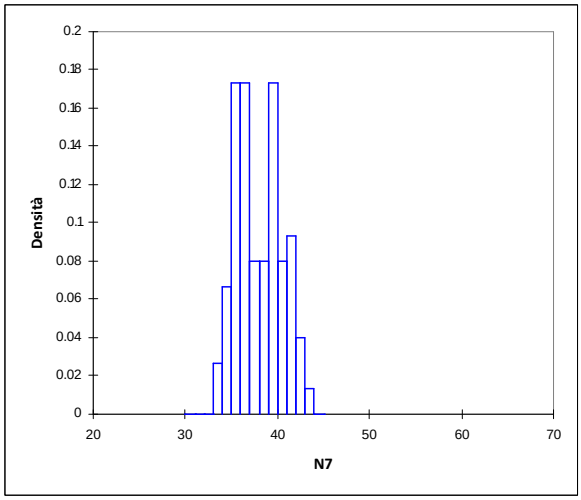


Figura 18 - Sito di Monte Porale - Punto A – Case Porale – Distribuzioni statistiche del livello di rumore residuo ($L_{Aeq,10'}$ e $L_{A50,10'}$)

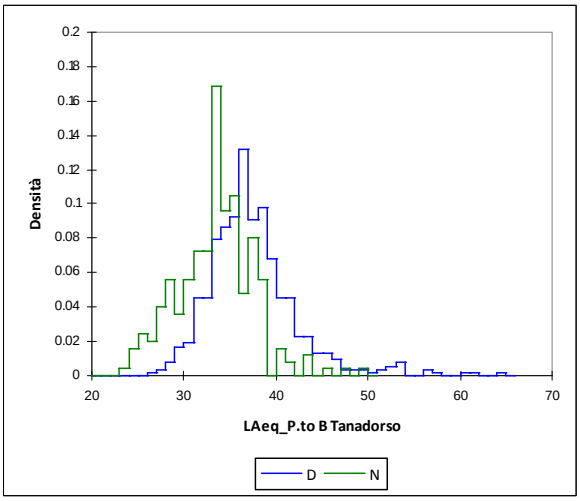
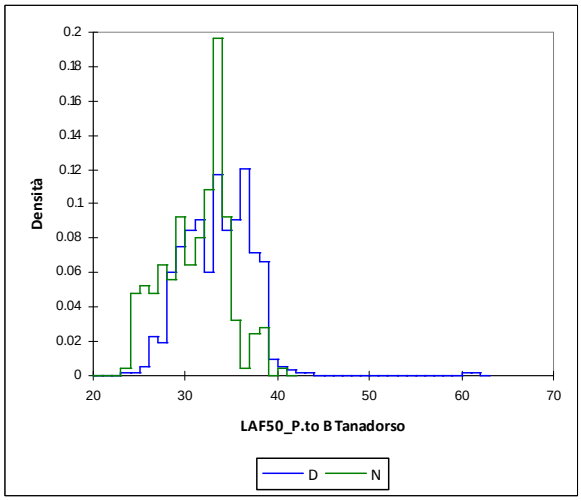
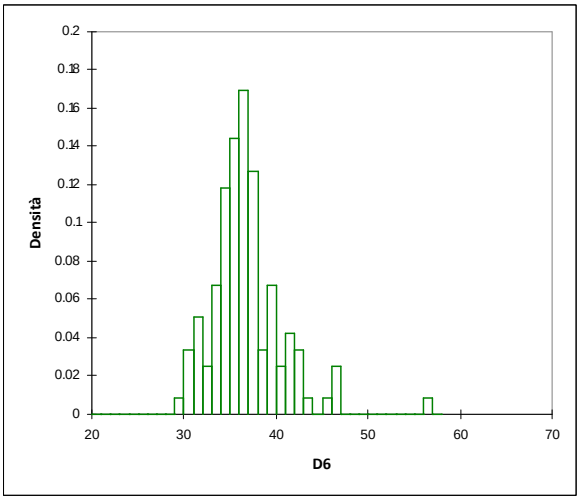
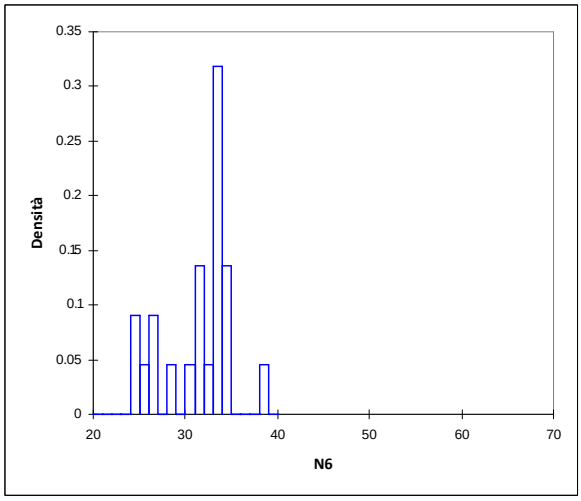
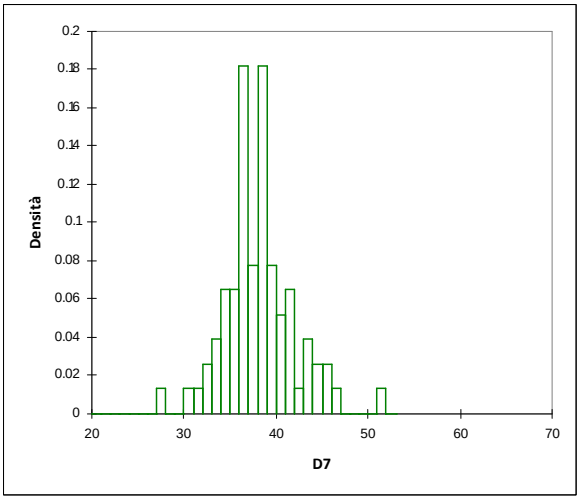
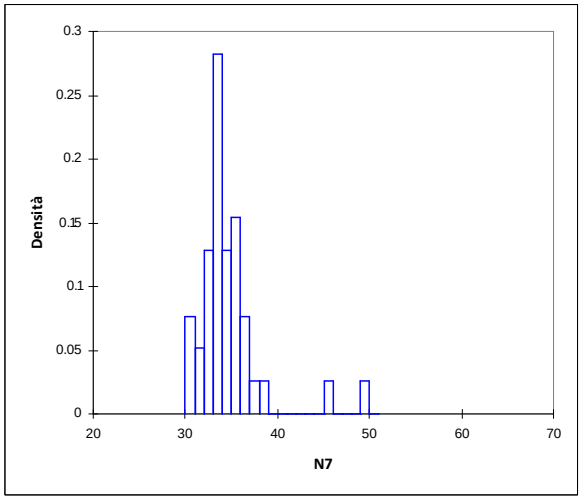
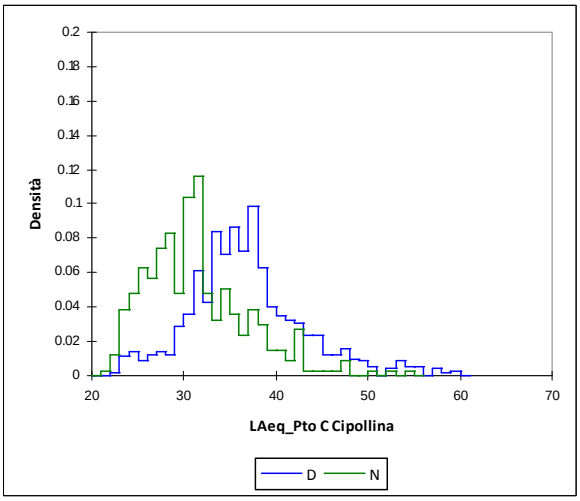
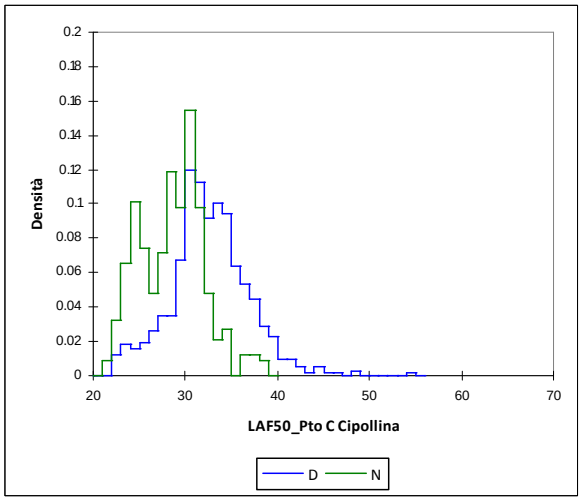
L_{Aeq} - Totale misure - TR Diurno e Notturno	L_{A50} - Totale misure - TR Diurno e Notturno
	
L_{Aeq} – TR Diurno – Classe di V_{30}: 6 m/s	L_{Aeq} – TR Notturno – Classe di V_{30}: 6 m/s
	
L_{Aeq} – TR Diurno – Classe di V_{30}: 7 m/s	L_{Aeq} – TR Notturno – Classe di V_{30}: 7 m/s
	

Figura 19 - Sito di Monte Porale - Punto B – Tanadorso - Distribuzioni statistiche del livello di rumore residuo ($L_{Aeq,10'}$ e $L_{A50,10'}$)

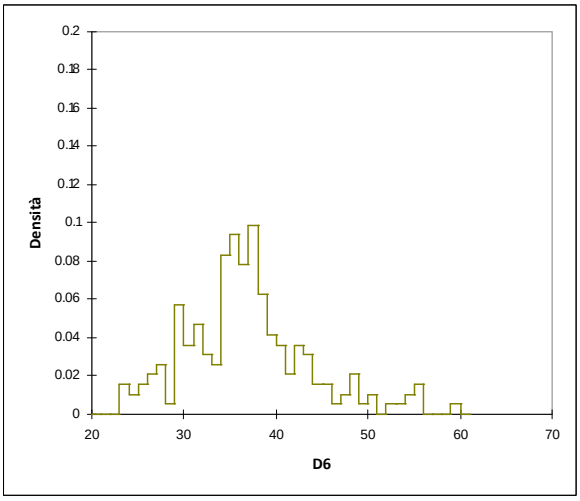
L_{Aeq} - Totale misure - TR Diurno e Notturno



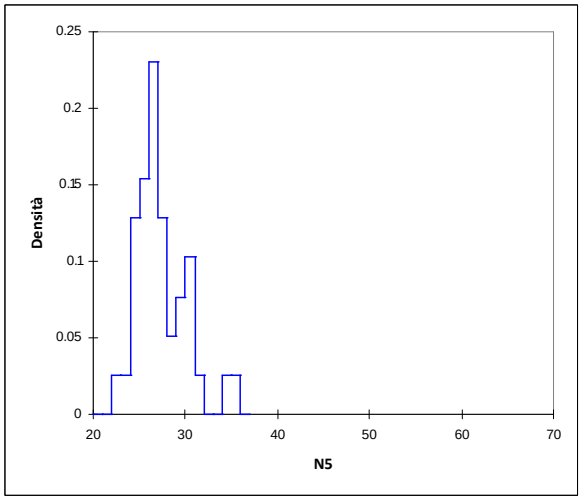
L_{A50} - Totale misure - TR Diurno e Notturno



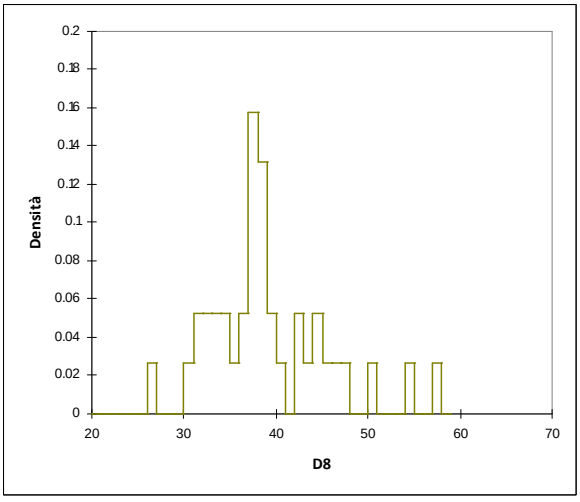
L_{Aeq} – TR Diurno – Classe di V_{30}: 6 m/s



L_{Aeq} – TR Notturno – Classe di V_{30}: 6 m/s



L_{Aeq} – TR Diurno – Classe di V_{30}: 8 m/s



L_{Aeq} – TR Notturno – Classe di V_{30}: 8 m/s

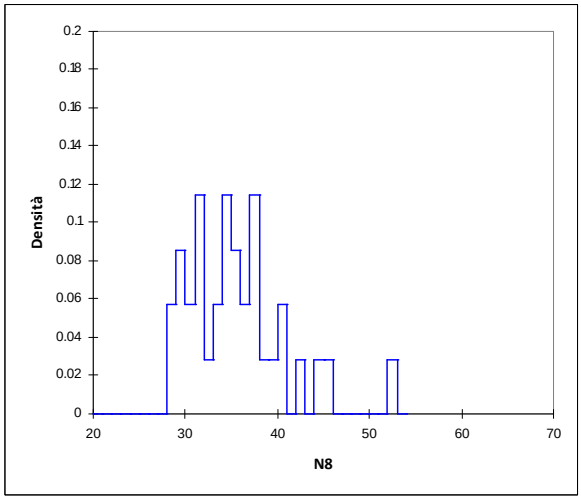
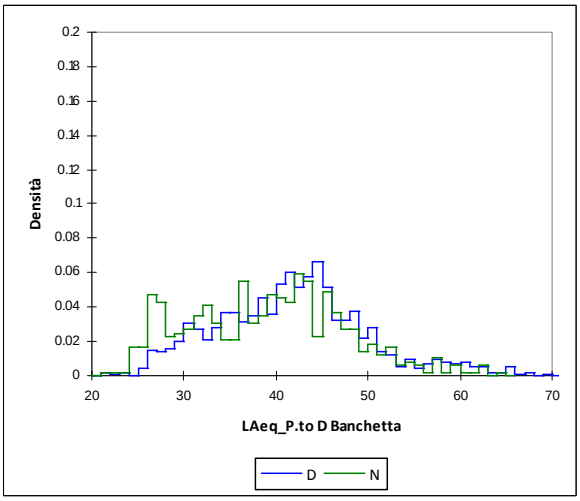
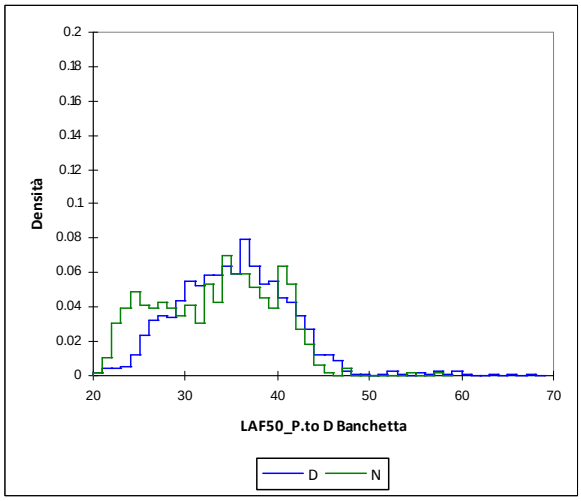


Figura 20 - Sito di Monte Porale - Punto C – Cipollina - Distribuzioni statistiche del livello di rumore residuo ($L_{Aeq,10'}$ e $L_{A50,10'}$)

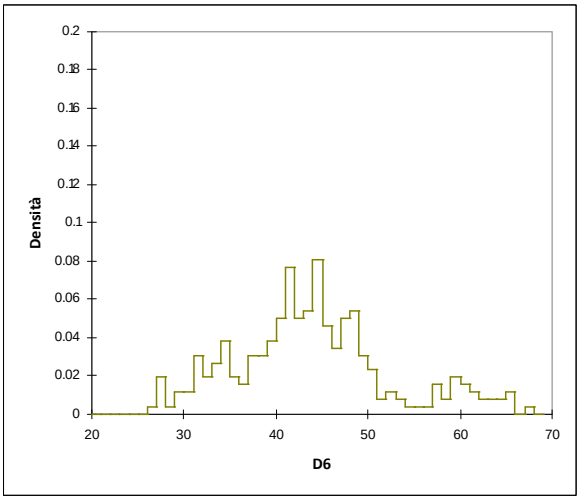
L_{Aeq} - Totale misure - TR Diurno e Notturno



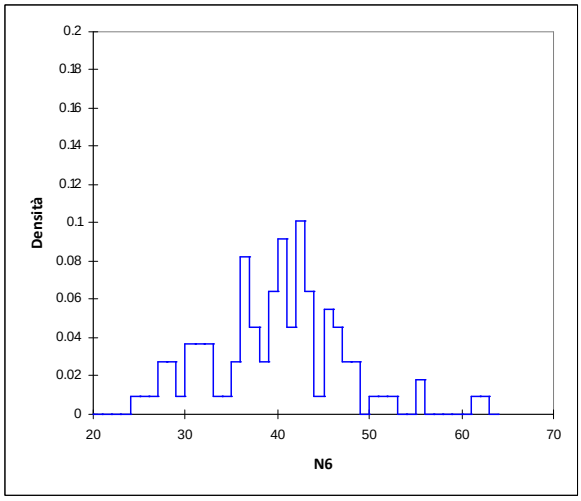
L_{A50} - Totale misure - TR Diurno e Notturno



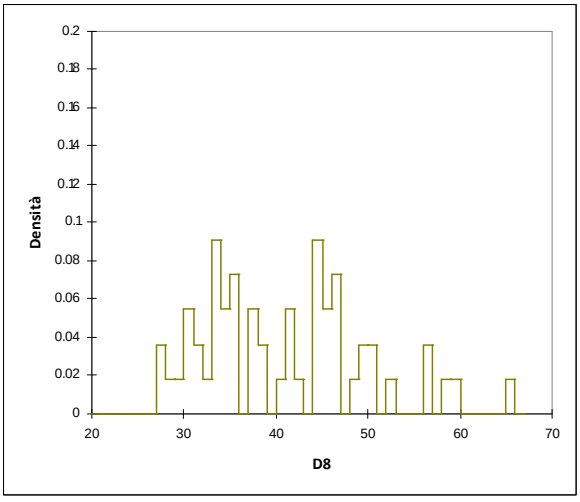
L_{Aeq} – TR Diurno – Classe di V_{30}: 6 m/s



L_{Aeq} – TR Notturno – Classe di V_{30}: 6 m/s



L_{Aeq} – TR Diurno – Classe di V_{30}: 8 m/s



L_{Aeq} – TR Notturno – Classe di V_{30}: 7 m/s

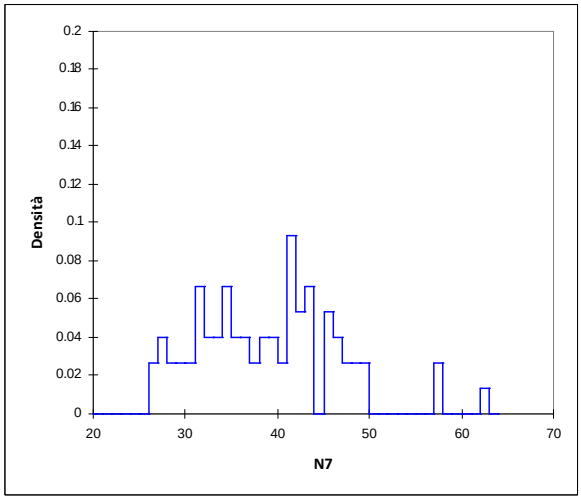


Figura 21 - Sito di Monte Porale - Punto D – Case Banchetta- Distribuzioni statistiche del livello di rumore residuo ($L_{Aeq,10'}$ e $L_{A50,10'}$)

2.3.3 Stima dell'incertezza complessiva del procedimento

La stima dell'incertezza insita nelle valutazioni riportate nello SIA è stata condotta con riferimento alla norma UNI/TR 11326:2009[4] "Acustica - Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica - Parte 1: Concetti generali".
Il testo, nella forma del rapporto tecnico fornisce linee guida di facile leggibilità per la valutazione e l'espressione dell'incertezza in acustica in maniera conforme alla UNI CEI ENV 13005. La norma introduce le regole fondamentali per la valutazione e l'espressione dell'incertezza dei risultati di misurazioni e calcoli con particolare riguardo al campo dell'acustica applicata.
Con riferimento allo schema di Figura 17, l'incertezza complessiva è stata valutata rispetto ai seguenti componenti:

- incertezza dovuta all'intrinseca variabilità del rumore residuo misurato;
- incertezza nel contributo del parco eolico calcolato dal modello, a cui concorrono principalmente:
  - l'incertezza del dato di potenza sonora in ingresso utilizzato;
  - incertezza dell'algoritmo di calcolo della propagazione sonora.

La metodica di composizione di tali componenti è quella indicata dallo standard citato.

2.3.3.1 Incertezza relativa al livello di rumore residuo misurato

L'incertezza relativa al livello di rumore residuo misurato tiene conto della naturale intrinseca variabilità del livello sonoro registrato sul sito, come si evince chiaramente sia dai profili temporali del rumore contenuti nello S.I.A. che dalle distribuzioni statistiche riportate alle pagine precedenti. Tale variabilità è legata alle attività antropiche, alla presenza di animali, alle lavorazioni agricole, alla presenza di vento, ecc.
In questo caso, la trattazione è stata sviluppata rispetto alla suddivisione in classi di velocità del vento, funzionale alla successiva applicazione modellistica.
L'incertezza u_R del livello di rumore residuo è quantificata statisticamente a partire da n misure ripetute[5], valutando lo scarto tipo sperimentale della media.
Si è quindi valutata la media degli n valori di $L_{Aeq,10'}$ afferenti a ciascuna classe, indicata con $L_{Aeq,medio}$ e la varianza sperimentale delle osservazioni, la cui radice quadrata positiva è denominata scarto tipo sperimentale, che, a sua volta, rappresenta il termine u_R cercato.
Si ha perciò:

$$u_R = \sqrt{s^2\left(L_{Aeq,medio}\right)} = \sqrt{s^2\left(L_{Aeq,10'}\right)/n} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(L_{Aeq,10'} - L_{Aeq,medio}\right)^2 / n\cdot(n-1)}$$

Nella seguente tabella si sintetizzano, per le postazioni A, B, C, D, alle velocità del vento di 6 e 8 m/s, considerate nello studio, i valori di $L_{Aeq,medio}$ e di u_R. Si indica anche il valore relativo all'intera misura, ossia all'insieme di tutte le velocità del vento rilevate. I dati sono riferiti separatamente al TR diurno e notturno.
Nell'ipotesi che i dati siano distribuiti all'incirca normalmente, si può calcolare l'incertezza estesa per le misure di residuo U_R tramite la relazione $U_R = k \cdot u_R$, con k = 1.645, che rappresenta il fattore di copertura che garantisce un livello di fiducia del 90% per un intervallo di confidenza bilaterale. Si costruiscono quindi gli intervalli di confidenza attorno al valore medio, come indicato in tabella.

[4] Norma UNI/TR 11326:2009 - Acustica - Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica - Parte 1: Concetti generali, entrata in vigore nel maggio 2009
[5] Si ritiene che u_R comprenda anche l'incertezza strumentale, dovuta alla catena di misura in classe 1

Tabella 14 - Valutazione dell'incertezza legata alle misure di rumore residuo presso il sito di Monte Porale

Classe di velocità del vento a 10 m dal suolo	TR Diurno			TR Notturno		
	$L_{Aeq,medio}$	u_R	$L_{Aeq,medio} \pm U_R$	$L_{Aeq,medio}$	u_R	$L_{Aeq,medio} \pm U_R$
Punto A Case Porale						
6 m/s	41.0	0.40	41.0 ± 0.7	37.5	0.43	37.5 ± 0.7
8 m/s	38.5	0.59	38.5 ± 1.0	36.7	0.37	36.7 ± 0.6
Tutte le classi (4÷10 m/s)	39.4	0.18	39.4 ± 0.3	37.0	0.12	37.0 ± 0.2
Punto B - Tanadorso						
6 m/s	37.2	0.44	37.2 ± 0.7	34.8	0.29	34.8 ± 0.5
8 m/s	39.7	0.64	39.7 ± 1.0	35.9	0.43	35.9 ± 0.7
Tutte le classi (4÷10 m/s)	37.6	0.22	37.6 ± 0.4	33.3	0.23	33.3 ± 0.4
Punto C - Cipollina						
6 m/s	39.0	0.50	39.0 ± 0.8	31.1	0.52	31.1 ± 0.9
8 m/s	39.9	1.07	39.9 ± 1.8	33.5	0.87	33.5 ± 1.4
Tutte le classi (4÷10 m/s)	37.8	0.23	37.8 ± 0.4	29.8	0.22	29.8 ± 0.4
Punto D						
6 m/s	44.9	0.60	44.9 ± 1.0	34.5	0.93	34.5 ± 1.5
8 m/s	44.3	1.25	44.3 ± 2.1	31.5	0.96	31.5 ± 1.6
Tutte le classi (4÷10 m/s)	44.3	0.29	44.3 ± 0.5	33.5	0.37	33.5 ± 0.6

2.3.3.2 Incertezza relativa al contributo del parco eolico calcolato dal modello

L'incertezza relativa alla propagazione sonora è stata valutata con riferimento alle indicazioni contenute al § 8.3 della norma UNI/TR 11326.

Il contributo di ciascuna sorgente nell'ambiente circostante presso punti ricettori L_p si calcola sulla base del livello di potenza sonora delle sorgenti stesse L_W e dei principali termini di attenuazione lungo il percorso di propagazione.

L'incertezza dei livelli sonori calcolati è quindi associata all'accuratezza dei dati di ingresso ed all'accuratezza del modello di calcolo della propagazione sonora.

In conformità con la norma UNI ISO 9613-2, la formulazione generale della propagazione sonora per una singola sorgente si può esprimere attraverso la seguente relazione:

$$L_p = f(L_W, A) = L_W - A$$

dove:

- L_W livello di potenza sonora della sorgente;
- A attenuazione complessiva dell'onda sonora per effetto della divergenza geometrica, assorbimento atmosferico, presenza di barriere, assorbimento del terreno, ecc. (termini A_{div}, A_{atm}, A_{bar}, A_{gr}, ecc. della UNI ISO 9613-2).

Il quadrato dell'incertezza tipo composta di L_p viene calcolata, nell'ipotesi che le grandezze considerate nel calcolo del livello sonoro non siano correlate tra loro, mediante la relazione n° 6 della norma, che assume la seguente forma:

$$u_c^2(L_p) = u^2(L_W) + u^2(A)$$

dove:

- $u^2(L_W)$ incertezza associata al livello di potenza sonora, che dipende dal metodo utilizzato per la sua determinazione;

- $u^2(A)$ incertezza associata all'attenuazione del suono lungo il percorso di propagazione, che dipende dal modello di calcolo utilizzato.

2.3.3.2.1 Incertezza $u(L_W)$ associata al livello di potenza sonora

Per il termine $u(L_W)$ si è assunto un valore di 1 dB, ricavato dalle indicazioni di cui alla norma CEI EN 61400-11[1] § D.4.2; tale termine include le incertezze di tipo A e di tipo B.

2.3.3.2.2 Incertezza u(A) associata all'attenuazione del suono lungo il percorso di propagazione

Per il termine u(A) si hanno invece due opzioni:
- Opzione 1 (9613): utilizzo del dato riportato dalla norma UNI ISO 9613-2[6];
- Opzione 2 (11326): utilizzo della relazione riportata dalla UNI/TR 11326:2009.

OPZIONE 1 (9613)
Per la prima opzione si fa riferimento al prospetto 5 della norma citata, di seguito riportato.

prospetto 5 **Accuratezza stimata per rumore a banda larga di L_{AT}(DW) calcolata con le equazioni da (1) a (10)**

Altezza, h*)	Distanza, d*)	
	0 < d < 100 m	100 m < d < 1 000 m
0 < h < 5 m	±3 dB	±3 dB
5 m < h < 30 m	±1 dB	±3 dB

*) h è l'altezza media della sorgente e del ricettore.
d è la distanza tra sorgente e ricettore.

Nota Queste stime sono state ricavate da situazioni in cui non esistono effetti di riflessione o di attenuazione da ostacoli.

Nel caso in esame, poiché h > 5 m e d > 100 m per tutte le postazioni, si utilizza come accuratezza stimata il valore di ± 3 dB. Tale indicazione rappresenta un'incertezza estesa U, per la quale si può assumere un fattore di copertura k = 2. Perciò, sapendo che $U = k \cdot u_c$, si ha che u(A) = 1.5 dB per tutte le combinazioni sorgente / ricevitore.

OPZIONE 2 (11326)
La seconda opzione per il calcolo di u(A) prevede l'utilizzo della seguente formula, proposta da Probst[7]:

$$u(A) = k \cdot \log (d/d_0)$$

valida per $d > d_0$, con k = 2 dB e d_0 = 10 m, riportata dalla UNI/TR 11326:2009 (n° 38, pag.32).
La norma stessa afferma che questa formula può essere utilizzata *"in prima approssimazione, […] per stimare l'incertezza sull'attenuazione complessiva in funzione della distanza d dalla sorgente"*, ma va intesa come una primo approccio basato *"sull'esperienza con i modelli di calcolo attualmente in uso in Europa e andrebbe aggiornata e dettagliata di pari passo con l'evoluzione dello stato dell'arte"*.
Quindi, utilizzando tale relazione, u(A) varia con la distanza sorgente – ricevitore.
La Figura 22 riporta l'ubicazione degli aerogeneratori previsti a progetto e dei punti di calcolo R01÷R20 inseriti nel modello.

In Tabella 15 si riporta il termine u(A) per tutte le combinazioni tra le n° 10 sorgenti (aerogeneratori V1÷V6, R1÷R4) ed i 20 ricevitori (R01÷R20), calcolato sulla base della relazione citata.

[6] UNI ISO 9613-1:2006 - Acustica - Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto - Parte 1: Calcolo dell'assorbimento atmosferico
[7] W. Probst, Uncertainties in the prediction of environmental noise and in noise mapping, International INCE Symposium "Managing uncertainties in noise measurements and predictions: a new challenge for acousticians", Le Mans, 26-29 June 2005

Si nota come il termine u(A) con l'opzione 2 risulti molto più elevato rispetto all'opzione 1: in quest'ultimo caso u(A) vale 1.5 dB, mentre, con la formulazione che dipende dalla distanza si hanno valori compresi tra circa 3 e 4.5 dB.



Figura 22 – Ubicazione degli aerogeneratori a progetto e dei punti di calcolo presso ricettori

Tabella 15 - Incertezza sull'attenuazione complessiva u(A) calcolata con formula di Probst - Valore in dB(A)

u(A)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	R1	R2	R3	R4
R01	4.4	4.3	4.3	4.2	4.2	4.3	4.1	3.9	3.5	3.1
R02	4.4	4.3	4.2	4.1	4.1	4.3	4.0	3.8	3.4	3.1
R03	4.3	4.2	4.1	4.1	4.2	4.2	4.0	3.9	3.5	3.2
R04	4.3	4.2	4.1	4.1	4.2	4.2	4.0	3.9	3.5	3.2
R05	4.3	4.2	4.1	4.1	4.2	4.2	4.0	3.9	3.5	3.2
R06	3.7	3.5	3.3	3.4	3.6	3.6	3.3	3.2	3.4	3.6
R07	3.6	3.4	3.2	3.4	3.6	3.6	3.4	3.3	3.5	3.7
R08	3.6	3.4	3.2	3.4	3.6	3.6	3.4	3.3	3.5	3.7
R09	3.6	3.4	3.2	3.5	3.7	3.7	3.6	3.5	3.6	3.8
R10	3.7	3.6	3.5	3.8	3.9	3.9	3.8	3.7	3.7	3.8
R11	3.6	3.4	3.4	3.7	3.9	3.8	3.8	3.7	3.8	3.9
R12	3.8	3.7	3.7	3.9	4.1	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9
R13	3.6	3.5	3.5	3.8	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9	4.0
R14	3.5	3.4	3.5	3.8	4.0	3.9	3.9	3.9	4.0	4.1
R15	3.6	3.5	3.6	3.9	4.0	3.9	3.9	3.9	4.0	4.1
R16	3.7	3.6	3.6	3.9	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	4.0
R17	2.9	3.1	3.3	3.8	4.0	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2
R18	3.1	3.3	3.5	3.9	4.0	3.8	4.0	4.1	4.2	4.3
R19	4.4	4.3	4.3	4.2	4.1	4.3	4.0	3.9	3.5	3.2
R20	4.5	4.4	4.3	4.2	4.2	4.3	4.1	3.9	3.7	3.6

2.3.3.2.3 Incertezza tipo composta $u_c(L_p)$

Come già mostrato, l'incertezza tipo composta di L_p viene calcolata mediante la relazione n° 6 della norma: $u_c^2(L_p) = u^2(L_W) + u^2(A)$.
Le seguenti tabelle riportano per le due opzioni di calcolo del termine u(A), i valori dell'incertezza tipo composta $u_c(L_p)$ per tutte le combinazioni sorgente / ricevitore.

Tabella 16 – Opzione 1 (9613) - Incertezza tipo composta $u_c(L_p)$ - Valore in dB(A)

uc(Lp)	R1	R2	R3	R4	V1	V2	V3	V4	V5	V6
R01	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R02	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R03	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R04	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R05	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R06	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R07	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R08	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R09	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R10	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R11	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R12	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R13	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R14	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R15	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R16	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R17	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R18	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R19	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
R20	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

Tabella 17 – Opzione 2 (11326) - Incertezza tipo composta $u_c(L_p)$ - Valore in dB(A)

uc(Lp)	R1	R2	R3	R4	V1	V2	V3	V4	V5	V6
R01	4.5	4.5	4.4	4.3	4.3	4.4	4.2	4.0	3.6	3.2
R02	4.5	4.4	4.4	4.3	4.2	4.4	4.1	4.0	3.6	3.3
R03	4.4	4.3	4.2	4.2	4.3	4.4	4.2	4.0	3.7	3.3
R04	4.4	4.3	4.2	4.2	4.3	4.4	4.2	4.0	3.7	3.3
R05	4.4	4.3	4.2	4.2	4.3	4.3	4.1	4.0	3.6	3.3
R06	3.8	3.6	3.4	3.5	3.7	3.7	3.5	3.4	3.5	3.7
R07	3.7	3.5	3.4	3.5	3.7	3.7	3.5	3.5	3.6	3.8
R08	3.7	3.5	3.3	3.5	3.7	3.7	3.5	3.5	3.6	3.9
R09	3.7	3.5	3.4	3.6	3.9	3.8	3.7	3.7	3.7	3.9
R10	3.9	3.7	3.7	3.9	4.1	4.0	3.9	3.9	3.8	3.9
R11	3.7	3.6	3.5	3.8	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9	4.0
R12	3.9	3.9	3.8	4.1	4.2	4.2	4.1	4.1	4.0	4.1
R13	3.8	3.7	3.6	3.9	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	4.1
R14	3.6	3.5	3.6	3.9	4.1	4.0	4.0	4.0	4.1	4.2
R15	3.7	3.7	3.7	4.0	4.2	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2
R16	3.8	3.7	3.7	4.0	4.2	4.1	4.1	4.0	4.1	4.1
R17	3.1	3.2	3.5	3.9	4.1	3.9	4.0	4.1	4.3	4.4
R18	3.3	3.4	3.6	4.0	4.1	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4
R19	4.5	4.5	4.4	4.3	4.3	4.4	4.1	4.0	3.6	3.3
R20	4.6	4.5	4.5	4.3	4.3	4.4	4.2	4.1	3.8	3.7

2.3.3.2.4 Incertezza associata al contributo di più sorgenti

Il livello di pressione sonora calcolato presso un ricettore è dato dalla somma energetica dei contributi di tutti gli aerogeneratori, i quali hanno la propria incertezza associata, valutata con le metodiche appena descritte, e riportata in Tabella 16 e Tabella 17.
Il livello sonoro complessivo al ricettore è dato quindi dalla nota relazione:

$$L = f(L_1, L_2, \ldots, L_N) = 10\lg\left(\sum_{i=1}^{N} 10^{0,1L_i}\right)$$

I valori dei livelli L_i, contributi di ciascuna turbina su ciascun ricettore sono stati ricavati dal modello di calcolo e sono riportati nella seguente tabella per la velocità del vento di 8 m7s, corrispondente alla massima emissione sonora degli aerogeneratori.

Tabella 18 – Contributi di ciascun aerogeneratore al livello complessivo L_i - Valore in dB(A)

Li 8 m/s	R1	R2	R3	R4	V1	V2	V3	V4	V5	V6
R01	27.4	29.4	34.6	39.4	22.5	19.7	24.7	25.8	25.8	20.3
R02	28.2	30.3	35.4	39.0	18.4	19.2	20.7	22.3	22.6	13.0
R03	27.6	29.4	34.0	38.1	24.4	25.5	26.5	26.5	22.0	20.8
R04	27.4	29.1	33.8	38.1	24.1	25.2	26.2	26.2	21.8	20.8
R05	28.0	29.7	34.3	38.0	24.8	26.0	27.0	26.9	26.1	20.8
R06	36.3	37.5	35.8	32.8	27.1	30.1	36.7	35.7	29.3	12.7
R07	35.8	36.5	34.8	32.3	27.6	31.0	38.0	35.9	33.2	12.8
R08	35.7	36.2	28.3	23.1	24.8	30.8	38.3	35.9	33.1	12.8
R09	34.0	34.4	33.3	31.3	33.9	36.2	37.8	34.5	31.9	17.4
R10	30.0	30.7	31.0	30.0	30.6	32.1	33.0	30.3	28.1	17.5
R11	31.1	31.3	30.7	29.4	33.3	34.9	35.5	31.8	25.5	20.9
R12	29.2	29.6	30.0	29.6	31.0	32.0	32.3	29.6	27.7	21.6
R13	29.7	29.9	29.5	28.5	32.9	34.0	34.2	30.5	28.3	18.8
R14	25.4	25.2	28.1	26.8	34.5	35.3	34.7	26.5	23.4	11.8
R15	28.7	28.7	28.2	27.3	32.8	33.6	33.4	29.6	23.3	10.6
R16	25.0	29.2	29.0	28.2	31.9	29.9	29.0	27.4	24.2	7.1
R17	19.7	22.1	22.3	23.4	40.6	38.9	36.0	23.3	15.6	11.2
R18	14.5	10.5	21.7	23.7	38.5	36.7	34.1	24.1	16.4	10.7
R19	27.8	29.8	34.7	38.1	18.4	19.4	20.6	22.1	22.4	13.6
R20	27.3	29.0	32.3	33.6	16.6	16.9	19.2	21.3	26.1	15.8

Ipotizzando, anche in questo caso, che i singoli livelli sonori non siano correlati tra loro, l'incertezza tipo composta della somma dei livelli sonori $u_c(L_p)$ è pari alla radice quadrata della varianza tipo, da cui deriva la relazione riportata:

$$u_c^2(L_P) = \frac{\sum_{i=1}^{N} [u(L_i) \times 10^{0,1L_i}]^2}{\left[\sum_{i=1}^{N} 10^{0,1L_i}\right]^2}$$

La norma evidenzia che *"tale procedura è sicuramente approssimata in quanto i contributi delle sorgenti sono spesso in parte correlati. Ma in assenza di conoscenze più approfondite questa metodologia rappresenta il migliore approccio per la conoscenza dell'incertezza composta associata al valore calcolato"*.

La valutazione dell'incertezza sul contributo del parco eolico presso i ricettori è funzione della metodica seguita per il calcolo dell'incertezza sulla propagazione che, come detto, è stata affrontata sia con riferimento alla UNI ISO 9613-2 che alla formulazione di contenuta nella UNI/TR 11326:2009.

La seguente tabella riporta il risultato del calcolo per le postazioni R01÷R20 utilizzando sia l'opzione 1 (9613) che l'opzione 2 (11326) per il calcolo di u(A). Si indica l'incertezza tipo composta della somma dei livelli sonori $u_c(L_p)$ e l'incertezza estesa U, pari a $U = 1.645 \cdot u_C(L_p)$. Il termine k = 1.645 rappresenta il fattore di copertura che garantisce un livello di fiducia del 90% per un intervallo di confidenza bilaterale.

Tabella 19 – Stima dell'incertezza dei risultati del calcolo previsionale con modello matematico secondo l'opzione 1 (9613) e l'opzione 2 (11326) – Velocità del vento 8 m/s 10 m

Punto	Opzione 1 Calcolo di u(A) secondo ISO 9613-2				Opzione 2 Calcolo di u(A) secondo la formulazione di W. Probst (UNI/TR 11326:2009)			
	$u_c^2(L_p)$	$u_c(L_p)$	U	Livello medio ± U	$u_c^2(L_p)$	$u_c(L_p)$	U	Livello medio ± U
R01	1.3	1.2	1.9	**41.6 ± 1.9**	7.6	2.8	4.5	**41.6 ± 4.5**
R02	1.3	1.1	1.9	**41.4 ± 1.9**	7.4	2.7	4.5	**41.4 ± 4.5**
R03	1.1	1.0	1.7	**40.9 ± 1.7**	6.0	2.4	4.0	**40.9 ± 4**
R04	1.1	1.1	1.7	**40.7 ± 1.7**	6.2	2.5	4.1	**40.7 ± 4.1**
R05	1.0	1.0	1.6	**41.1 ± 1.6**	5.4	2.3	3.8	**41.1 ± 3.8**
R06	0.5	0.7	1.2	**44.2 ± 1.2**	1.9	1.4	2.3	**44.2 ± 2.3**
R07	0.5	0.7	1.1	**44.3 ± 1.1**	1.8	1.4	2.2	**44.3 ± 2.2**
R08	0.6	0.8	1.3	**43.6 ± 1.3**	2.4	1.5	2.5	**43.6 ± 2.5**
R09	0.4	0.7	1.1	**44.1 ± 1.1**	1.8	1.4	2.2	**44.1 ± 2.2**
R10	0.4	0.6	1.0	**40.4 ± 1.0**	1.8	1.4	2.2	**40.4 ± 2.2**
R11	0.5	0.7	1.1	**41.9 ± 1.1**	2.2	1.5	2.4	**41.9 ± 2.4**
R12	0.4	0.6	1.0	**39.9 ± 1.0**	2.0	1.4	2.3	**39.9 ± 2.3**
R13	0.5	0.7	1.1	**41.0 ± 1.1**	2.2	1.5	2.5	**41 ± 2.5**
R14	0.7	0.8	1.4	**40.7 ± 1.4**	3.5	1.9	3.1	**40.7 ± 3.1**
R15	0.5	0.7	1.2	**40.1 ± 1.2**	2.6	1.6	2.6	**40.1 ± 2.6**
R16	0.4	0.7	1.1	**38.3 ± 1.1**	2.2	1.5	2.4	**38.3 ± 2.4**
R17	1.2	1.1	1.8	**43.8 ± 1.8**	5.8	2.4	4.0	**43.8 ± 4**
R18	1.1	1.1	1.7	**41.8 ± 1.7**	5.8	2.4	4.0	**41.8 ± 4**
R19	1.2	1.1	1.8	**40.6 ± 1.8**	7.1	2.7	4.4	**40.6 ± 4.4**
R20	0.8	0.9	1.5	**37.8 ± 1.5**	4.8	2.2	3.6	**37.8 ± 3.6**

L'esame della tabella conferma come le due opzioni di calcolo diano adito a stime dell'incertezza piuttosto differenziate: l'incertezza estesa con l'opzione 1 è compresa tra 1 e 2 dB, mentre con l'opzione 2 essa si attesta tra 2.2 e 4.5 dB(A). I minori valori di incertezza si hanno per le postazioni che risentono maggiormente del contributo degli aerogeneratori, essendo dislocate a minore distanza.

2.3.3.3 Incertezza relativa al livello di immissione.

Il livello di immissione L_{Imm} si calcola mediante somma energetica del livello di rumore residuo L_R e del contributo del parco eolico L_C calcolato dal modello. L'incertezza associata a questa operazione viene ricavata utilizzando una relazione reperita su una pubblicazione dello stesso W. Probst citato nella UNI/TR 11326[8]. La relazione di somma energetica per il calcolo di L_{Imm} è la seguente:

$$L_{Imm} = 10 \cdot \log\left(10^{0.1 \cdot LR} + 10^{0.1 \cdot LC}\right)$$

L'incertezza associata a questa operazione viene calcolata mediante la seguente relazione:

$$u_{Imm} = \frac{\sqrt{\left(u_R \cdot 10^{0.1 \cdot LR}\right)^2 + \left(u_C \cdot 10^{0.1 \cdot LC}\right)^2}}{10^{0.1 \cdot LR} + 10^{0.1 \cdot LC}}$$

Mediante i dati precedentemente riportati è stato quindi calcolato il livello di immissione per i ricettori R01÷R20, trasferendo a questi i livelli di rumore residuo L_R misurati presso le postazioni A÷F, come indicato nel prospetto seguente, che si differenzia da quello dello SIA ed integrazioni per la sola postazione F, considerata rappresentativa del punto di calcolo R01.

Punto di misura del rumore residuo	Punti di calcolo associati
A – Case Porale	R06, R07, R08, R09
B – Tanadorso	R02, R19, R20
C – Cipollina	R03, R04, R05
D – Case Banchetta	R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16
E – Casa Sotto Rocche	R17, R18
F	R01,

I risultati della stima dell'incertezza u_{Imm} sono riportati, in funzione dei dati assunti per il termine L_C, contributo del modello che si differenzia per l'opzione di calcolo seguita, in Tabella 20 e Tabella 21 rispettivamente per l'opzione 1 e per l'opzione 2 (Tabella 19).
Ciascuna tabella riporta la stima separatamente per il periodo di riferimento diurno e notturno.

[8] The Uncertainty of Sound Pressure Levels calculated with Noise Prediction Programs, Wolfgang Probst, Ulrich Donner, ACCON GmbH, 2002

Tabella 20 - Stima dell'incertezza nel calcolo del livello di immissione presso i ricettori – Opzione 1 (9613) – Valori in dB(A)

Punto	Livello Rumore Residuo L_R	u_R	Contributo del parco eolico L_C	u_C	Livello di rumore ambientale *post operam* L_{Imm}	u_{Imm}	$U=k \cdot u_{Imm}$ (K=1.645)	Livello immissione ± U	Limite superiore int.confid.
Tempo di riferimento DIURNO									
R01	39.1	0.3	41.6	1.2	**43.5**	0.74	1.2	**43.5 ± 1.2**	44.7
R02	44.3	1.3	41.4	1.1	**46.1**	0.91	1.5	**46.1 ± 1.5**	47.6
R03	39.9	1.1	40.9	1.0	**43.4**	0.75	1.2	**43.4 ± 1.2**	44.6
R04	39.9	1.1	40.7	1.1	**43.3**	0.75	1.2	**43.3 ± 1.2**	44.5
R05	39.9	1.1	41.1	1.0	**43.5**	0.73	1.2	**43.5 ± 1.2**	44.7
R06	38.5	0.6	44.2	0.7	**45.2**	0.57	0.9	**45.2 ± 0.9**	46.1
R07	38.5	0.6	44.3	0.7	**45.4**	0.56	0.9	**45.4 ± 0.9**	46.3
R08	38.5	0.6	43.6	0.8	**44.8**	0.61	1.0	**44.8 ± 1.0**	45.8
R09	38.5	0.6	44.1	0.7	**45.2**	0.54	0.9	**45.2 ± 0.9**	46.1
R10	44.3	1.3	40.4	0.6	**45.8**	0.91	1.5	**45.8 ± 1.5**	47.3
R11	44.3	1.3	41.9	0.7	**46.3**	0.83	1.4	**46.3 ± 1.4**	47.7
R12	44.3	1.3	39.9	0.6	**45.6**	0.93	1.5	**45.6 ± 1.5**	47.1
R13	44.3	1.3	41.0	0.7	**45.9**	0.88	1.4	**45.9 ± 1.4**	47.3
R14	44.3	1.3	40.7	0.8	**45.8**	0.91	1.5	**45.8 ± 1.5**	47.3
R15	44.3	1.3	40.1	0.7	**45.7**	0.93	1.5	**45.7 ± 1.5**	47.2
R16	44.3	1.3	38.3	0.7	**45.2**	1.01	1.7	**45.2 ± 1.7**	46.9
R17	41.4	0.4	43.8	1.1	**45.8**	0.70	1.2	**45.8 ± 1.2**	47.0
R18	41.4	0.4	41.8	1.1	**44.6**	0.60	1.0	**44.6 ± 1.0**	45.6
R19	44.3	1.3	40.6	1.1	**45.8**	0.94	1.5	**45.8 ± 1.5**	47.3
R20	44.3	1.3	37.8	0.9	**45.2**	1.04	1.7	**45.2 ± 1.7**	46.9
Tempo di riferimento NOTTURNO									
R01	-	-	41.6	1.2	-	-	-	-	-
R02	31.5	1.0	41.4	1.1	**41.8**	1.05	1.7	**41.8 ± 1.7**	43.5
R03	33.5	0.9	40.9	1.0	**41.6**	0.89	1.5	**41.6 ± 1.5**	43.1
R04	33.5	0.9	40.7	1.1	**41.5**	0.89	1.5	**41.5 ± 1.5**	43.0
R05	33.5	0.9	41.1	1.0	**41.8**	0.86	1.4	**41.8 ± 1.4**	43.2
R06	36.7	0.4	44.2	0.7	**44.9**	0.60	1.0	**44.9 ± 1.0**	45.9
R07	36.7	0.4	44.3	0.7	**45.0**	0.59	1.0	**45.0 ± 1.0**	46.0
R08	36.7	0.4	43.6	0.8	**44.4**	0.65	1.1	**44.4 ± 1.1**	45.5
R09	36.7	0.4	44.1	0.7	**44.8**	0.56	0.9	**44.8 ± 0.9**	45.7
R10	31.5	1.0	40.4	0.6	**40.9**	0.56	0.9	**40.9 ± 0.9**	41.8
R11	31.5	1.0	41.9	0.7	**42.3**	0.64	1.0	**42.3 ± 1.0**	43.3
R12	31.5	1.0	39.9	0.6	**40.5**	0.55	0.9	**40.5 ± 0.9**	41.4
R13	31.5	1.0	41.0	0.7	**41.4**	0.62	1.0	**41.4 ± 1.0**	42.4
R14	31.5	1.0	40.7	0.8	**41.2**	0.76	1.3	**41.2 ± 1.3**	42.5
R15	31.5	1.0	40.1	0.7	**40.6**	0.64	1.1	**40.6 ± 1.1**	41.7
R16	31.5	1.0	38.3	0.7	**39.1**	0.58	1.0	**39.1 ± 1.0**	40.1
R17	-	-	43.8	1.1	-	0.00	-	-	-
R18	-	-	41.8	1.1	-	0.00	-	-	-
R19	31.5	1.0	40.6	1.1	**41.1**	1.00	1.6	**41.1 ± 1.6**	42.7
R20	31.5	1.0	37.8	0.9	**38.7**	0.75	1.2	**38.7 ± 1.2**	39.9

Tabella 21 - Stima dell'incertezza nel calcolo del livello di immissione presso i ricettori – Opzione 2 (11326) – Valori in dB(A)

Punto	Livello Rumore Residuo L_R	u_R	Contributo del parco eolico L_C	u_C	Livello di rumore ambientale *post operam* L_{Imm}	u_{Imm}	$U=k \cdot u_{Imm}$ (K=1.645)	Livello immissione ± U	Limite superiore int.confid.
Tempo di riferimento DIURNO									
R01	39.1	0.3	41.6	2.8	**43.5**	1.78	2.9	**43.5 ± 2.9**	46.4
R02	44.3	1.3	41.4	2.7	**46.1**	1.24	2.0	**46.1 ± 2.0**	48.1
R03	39.9	1.1	40.9	2.4	**43.4**	1.44	2.4	**43.4 ± 2.4**	45.8
R04	39.9	1.1	40.7	2.5	**43.3**	1.45	2.4	**43.3 ± 2.4**	45.7
R05	39.9	1.1	41.1	2.3	**43.5**	1.40	2.3	**43.5 ± 2.3**	45.8
R06	38.5	0.6	44.2	1.4	**45.2**	1.10	1.8	**45.2 ± 1.8**	47.0
R07	38.5	0.6	44.3	1.4	**45.4**	1.08	1.8	**45.4 ± 1.8**	47.2
R08	38.5	0.6	43.6	1.5	**44.8**	1.18	1.9	**44.8 ± 1.9**	46.7
R09	38.5	0.6	44.1	1.4	**45.2**	1.07	1.8	**45.2 ± 1.8**	47.0
R10	44.3	1.3	40.4	1.4	**45.8**	0.97	1.6	**45.8 ± 1.6**	47.4
R11	44.3	1.3	41.9	1.5	**46.3**	0.96	1.6	**46.3 ± 1.6**	47.9
R12	44.3	1.3	39.9	1.4	**45.6**	0.99	1.6	**45.6 ± 1.6**	47.2
R13	44.3	1.3	41.0	1.5	**45.9**	0.98	1.6	**45.9 ± 1.6**	47.5
R14	44.3	1.3	40.7	1.9	**45.8**	1.04	1.7	**45.8 ± 1.7**	47.5
R15	44.3	1.3	40.1	1.6	**45.7**	1.01	1.7	**45.7 ± 1.7**	47.4
R16	44.3	1.3	38.3	1.5	**45.2**	1.05	1.7	**45.2 ± 1.7**	46.9
R17	41.4	0.4	43.8	2.4	**45.8**	1.54	2.5	**45.8 ± 2.5**	48.3
R18	41.4	0.4	41.8	2.4	**44.6**	1.28	2.1	**44.6 ± 2.1**	46.7
R19	44.3	1.3	40.6	2.7	**45.8**	1.19	2.0	**45.8 ± 2.0**	47.8
R20	44.3	1.3	37.8	2.2	**45.2**	1.10	1.8	**45.2 ± 1.8**	47.0
Tempo di riferimento NOTTURNO									
R01	-	-	41.6	2.8	**41.8**	2.46	4.1	**41.8 ± 4.1**	45.9
R02	31.5	1.0	41.4	2.7	**41.6**	2.07	3.4	**41.6 ± 3.4**	45.0
R03	33.5	0.9	40.9	2.4	**41.5**	2.09	3.4	**41.5 ± 3.4**	44.9
R04	33.5	0.9	40.7	2.5	**41.8**	1.98	3.3	**41.8 ± 3.3**	45.1
R05	33.5	0.9	41.1	2.3	**44.9**	1.18	1.9	**44.9 ± 1.9**	46.8
R06	36.7	0.4	44.2	1.4	**45.0**	1.16	1.9	**45.0 ± 1.9**	46.9
R07	36.7	0.4	44.3	1.4	**44.4**	1.28	2.1	**44.4 ± 2.1**	46.5
R08	36.7	0.4	43.6	1.5	**44.8**	1.15	1.9	**44.8 ± 1.9**	46.7
R09	36.7	0.4	44.1	1.4	**40.9**	1.20	2.0	**40.9 ± 2.0**	42.9
R10	31.5	1.0	40.4	1.4	**42.3**	1.36	2.2	**42.3 ± 2.2**	44.5
R11	31.5	1.0	41.9	1.5	**40.5**	1.23	2.0	**40.5 ± 2.0**	42.5
R12	31.5	1.0	39.9	1.4	**41.4**	1.35	2.2	**41.4 ± 2.2**	43.6
R13	31.5	1.0	41.0	1.5	**41.2**	1.68	2.8	**41.2 ± 2.8**	44.0
R14	31.5	1.0	40.7	1.9	**40.6**	1.41	2.3	**40.6 ± 2.3**	42.9
R15	31.5	1.0	40.1	1.6	**39.1**	1.24	2.0	**39.1 ± 2.0**	41.1
R16	31.5	1.0	38.3	1.5	-	-	-	-	-
R17	-	-	43.8	2.4	-	-	-	-	-
R18	-	-	41.8	2.4	**41.1**	2.37	3.9	**41.1 ± 3.9**	45.0
R19	31.5	1.0	40.6	2.7	**38.7**	1.79	2.9	**38.7 ± 2.9**	41.6
R20	31.5	1.0	37.8	2.2	**41.8**	2.46	4.1	**41.8 ± 4.1**	45.9

2.3.4 Considerazioni sui risultati ottenuti

La stima dell'incertezza rispetto ai risultati del calcolo del rumore prodotto dagli aerogeneratori e del livello di immissione "post operam" induce le osservazioni seguenti.

- Anche considerando, in via ampiamente cautelativa, il limite superiore dell'intervallo di confidenza (Tabella 20), i livelli di immissione in tutti i punti risultano compresi tra 45.5 e 48.5 dB(A) in periodo diurno e tra 41 e 47 in periodo notturno per il calcolo con l'opzione 2, che ha incertezza più ampia. Le postazioni ricadono tutte in classe III, con limiti di 60 dB(A) diurni e 50 dB(A) notturni, ad eccezione della postazione R20, appartenente alla classe II. Pertanto, il limite assoluto di immissione, risulta rispettato in tutti i punti sia in periodo diurno che notturno, alla velocità del vento di 8 m/s, che rappresenta il dato emissivo massimo degli aerogeneratori previsti.

- Considerando, in via ampiamente cautelativa, l'estremo superiore dell'intervallo di confidenza (L_C + U), alla velocità di 8 m/s, il contributo del solo parco eolico risulta compreso tra 39.3 e 45.6 dB(A) con opzione 1 e tra 40.7 e 47.8 con opzione 2. Pertanto, specie in quest'ultimo caso, presso alcuni punti di calcolo il contributo del parco potrebbe risultare superiore al limite di emissione più restrittivo, pari a 45 dB(A) in periodo notturno per la classe III e a 40 dB(A) per la classe II. I ricettori potenzialmente più critici con opzione di calcolo n°2 risultano essere: R01÷R02, R06÷R09, R17÷R19, R20 (unico ricettore in classe II), mentre con opzione n° 1 si ravvisano lievissimi superamenti del limite solo per R06, R07, R09 ed R17.

- Il livello differenziale di immissione di una data sorgente definito dal DPCM 14.11.97 (+ 5 dB(A) in periodo diurno e a + 3 dB(A) in periodo notturno), si riferisce alla differenza aritmetica tra il livello di rumore ambientale e residuo che si instaurano all'interno degli ambienti abitativi tra le due condizioni di sorgente attiva e sorgente non attiva. Nel caso di studi previsionali, è possibile una stima del valore del livello differenziale di immissione sulla base del calcolo del livello di rumore all'esterno dell'abitazione e su ragionevoli assunzioni sul "trasferimento" del livello sonoro esterno all'interno dell'abitazione e sull'effetto dei serramenti.
  Per quanto attiene alla situazione in periodo diurno, la modellazione condotta e le assunzioni formulate circa il livello di rumore residuo hanno mostrato come, nell'assetto corrispondente alla massima emissione sonora dei macchinari, ossia alla velocità del vento di 8 m/s, con opzione di calcolo n° 2, il livello di rumore ambientale previsto all'esterno dei fabbricati si colloca nell'intorno di 45 dB(A). Anche considerando il limite superiore dell'intervallo di confidenza, tale livello risulta già all'esterno del fabbricato, inferiore alla soglia di applicabilità del criterio differenziale in periodo diurno a finestre aperte, pari a 50 dB(A). Si confermano quindi le considerazioni espresse nello S.I.A. circa la non applicabilità del criterio differenziale in periodo diurno.
  In periodo notturno, la soglia di applicabilità del criterio differenziale a finestre aperte scende a 40 dB(A); la situazione, considerando cautelativamente il limite superiore dell'intervallo di confidenza, è nel complesso rassicurante. Si ha infatti un valore massimo di immissione pari a circa 46 dB(A) con opzione di calcolo n°1 e pari a circa 48 dB(A) con opzione 2. Nello S.I.A. si era assunta una riduzione, pari ad almeno 5÷6 dB dei livelli di rumore interni rispetto a quelli esterni al fabbricato a finestre aperte, basata su riferimenti bibliografici[9] relativi ad altre tipologie di sorgenti. Si ribadisce come tale assunzione risulti particolarmente conservativa per due ordini di motivi:
  - il punto di calcolo modellistico posto all'esterno dell'edificio risente del contributo di tutti gli aerogeneratori dislocati in un angolo visuale di circa ± 90° rispetto alla normale alla parete, mentre nella realtà, dall'interno del locale, potranno essere visibili e quindi acusticamente significative, un numero molto minore di sorgenti;
  - la particolare conformazione orografica del sito, con i ricettori più critici collocati a quote molto inferiori rispetto alle sorgenti (ad esempio vi sono quasi 200 m di dislivello tra R06 ed il mozzo della turbina R2), limita drasticamente la propagazione diretta dell'onda sonora dagli aerogeneratori all'interno dell'abitazione.

[9] Iannace G., Maffei L. - DETEC Università di Napoli – "Attenuazione del rumore ambientale attraverso una finestra aperta" - in Rivista Italiana di Acustica, gennaio-marzo 1995

Un ulteriore aspetto di rilievo per quanto riguarda la valutazione dell'impatto del parco è quello relativo alle reali caratteristiche anemometriche del sito e quindi alle condizioni di funzionamento effettivo degli aerogeneratori che saranno installati.
Come già evidenziato, Le condizioni di ventosità del sito sono state monitorate da Dicembre 2005 per mezzo della stazione anemometrica "Monte Porale", con sensori di velocità a 15 m. A tale stazione si è aggiunta, nel luglio del 2007, la stazione "Monte Porale 2", con sensori a due altezze (15 m e 30 m). La stazione "Monte Porale" è stata dismessa nel settembre 2010.
I dati registrati nelle due stazioni fino al mese di Novembre 2008 (circa 36 mesi di misure per la stazione "Monte Porale" e circa 17 mesi per la stazione "Monte Porale 2") hanno mostrato una velocità media del vento pari a:

- circa 5,95 m/s a 15 m dal suolo per la stazione "Monte Porale";
- circa 5,43 m/s a 15 m dal suolo per la stazione "Monte Porale 2";
- circa 5,93 m/s a 30 m dal suolo per la stazione "Monte Porale 2".

La Figura 23 riporta alcune elaborazioni statistiche sui dati anemometrici per il sensore 1408 a 30 m.
La prevalenza del vento è sulla direttrice NNO-SSE; nel primo caso la frequenza è pari a circa il 42% delle letture, mentre il secondo caso è relativo al 45% circa.

Le velocità medie sono però diverse: nel primo caso attorno a 5 m/s, nel secondo caso i settori hanno velocità media di 6.5 ed 7.9 m/s c.a. Ulteriori dati di dettaglio, relativi all'anemometro 1406 a 15 m dal suolo, hanno permesso di verificare che per i settori n° 1 e n° 12 le maggiori frequenze si hanno per velocità del vento comprese tra 3 e 6 m/s, mentre per il settore n° 7 (Sud), la maggiore frequenza si ha per velocità del vento comprese tra 5 e 7 m/s.

Descrizione elaborazioni statistiche

Caratteristiche anemologiche TA 1408 - 30 m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	All
A	5.8	4.8	3.1	3	2.6	7.3	8.9	2.7	1.8	1.9	4.3	5.6	6.50
k	2.47	2.21	1.6	1.58	1.28	2.01	2.27	0.93	1.24	1.46	1.65	3.02	1.80
U (m/s)*	5.13	4.27	2.76	2.72	2.42	6.5	7.93	2.8	1.68	1.71	3.82	5.02	5.75
E (W/mq)	132	83	32	31	31	319	519	97	11	9	81	108	250
f (%)	15.6	2.7	0.7	0.7	1	22.5	23.2	1	0.5	0.7	4.6	26.9	100

Tabella 5

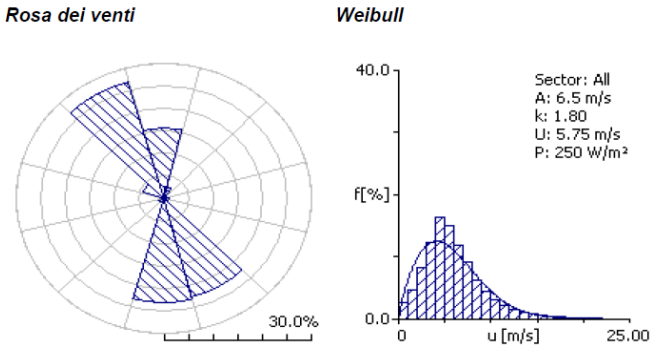


Figura 23 - Dati statistici relativi al sensore TA 1408 a 30 m

La situazione con 8 m/s di velocità a 10 m dal suolo interessa soprattutto i settori di provenienza meridionali, rispetto ai quali i ricettori più critici risultano sopravento alle sorgenti. Le provenienze dai settori settentrionali prevalenti, rispetto ai quali i ricettori sono sottovento agli aerogeneratori, hanno la frequenza più elevata per velocità comprese tra 4 e 5 m/s, a cui corrispondono livelli di potenza sonora inferiori rispetto al dato di 8 m/s a 10 m utilizzato per le valutazioni di cui alle pagine precedenti.

Nel complesso, quindi, si ritiene di confermare le valutazioni espresse nello S.I.A., che evidenziano una sostanziale compatibilità dell'opera con la legislazione vigente.

Qualora tuttavia i riscontri sperimentali a valle della realizzazione del parco eolico dessero evidenza di criticità in relazione al rispetto dei limiti di emissione o del criterio differenziale di immissione, sarà possibile attuare idonei interventi mitigativi volti a ridurre il contributo dell'impianto sui ricettori, mediante l'impostazione, sugli aerogeneratori, di modalità operative e di regolazioni in grado di ottenere, a scapito della producibilità, livelli di potenza sonora minori.

2.4 Valutazione di una diversa tipologia di aerogeneratori

Nell'ambito delle richieste di integrazione, è stata effettuata una valutazione del rumore prodotto per la versione del campo eolico a n° 3 macchine di grossa taglia da 2.5 MW o 3 MW cad.
Questa configurazione impiantistica ha ovviamente un layout alternativo[10] rispetto al progetto preso in esame nello SIA.
Tra i modelli di aerogeneratore di grossa taglia presi in considerazione si è esaminata la turbina Vestas V112-3.0, una macchina da 3 MW, con diametro palare di 112 m e velocità di rotazione compresa tra 6.2 e 17.7 giri/min.
La turbina è fornita con diverse modalità operative (mode 0, mode 1 e mode 2) che, a fronte di minore produzione, offrono anche una minore potenza sonora.
Alla velocità di 8 m/s la potenza sonora nella modalità standard (Mode 0) vale 106.5 dB(A), mentre nelle modalità 1 e 2, essa vale circa 103 dB(A).

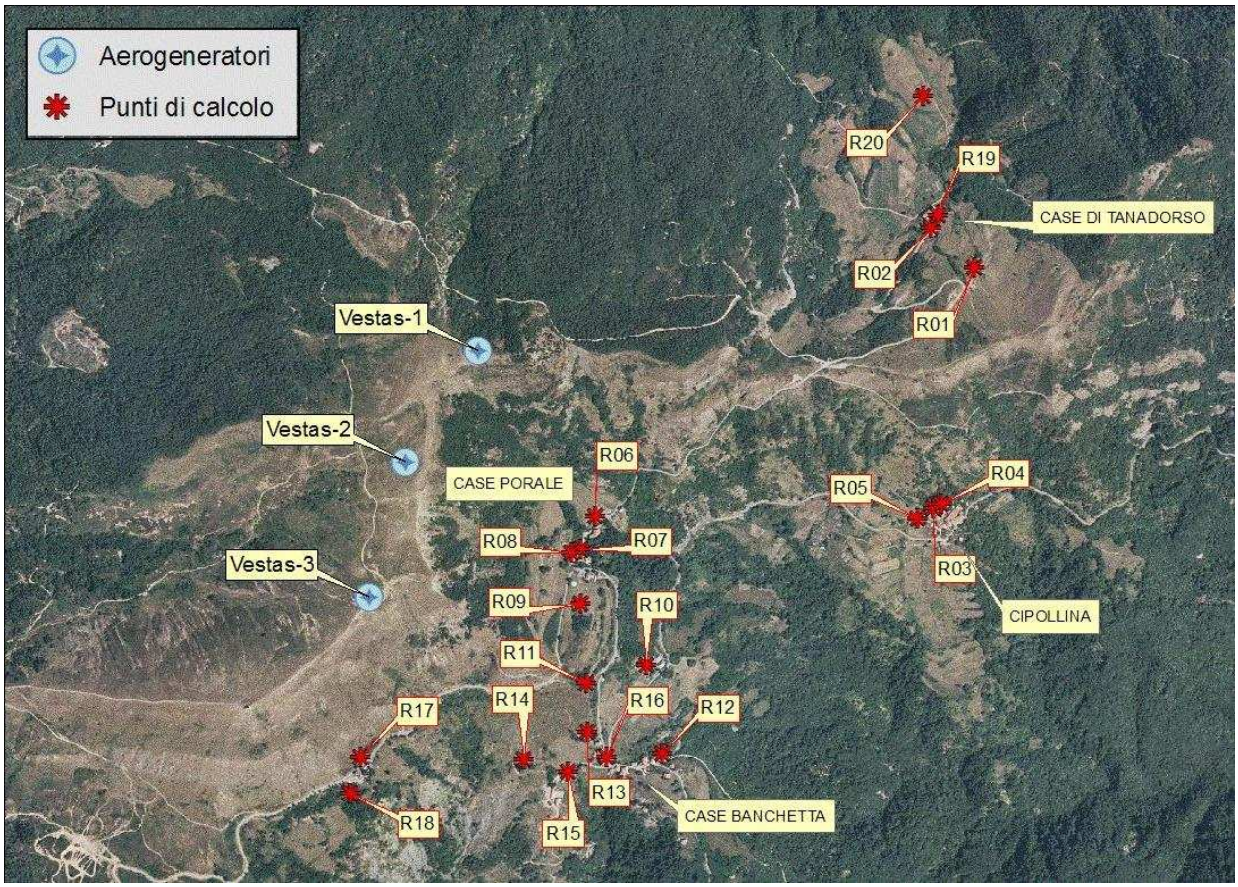


Figura 24 – Ubicazione degli aerogeneratori a progetto nella soluzione con n° 3 macchine di grossa taglia e dei punti di calcolo presso ricettori

Il calcolo è stato eseguito modificando il modello precedentemente predisposto per la soluzione impiantistica a 10 macchine. Nella seguente tabella, per la velocità del vento di 8 m/s a 10 m dal suolo, si riportano i dati pregressi, di cui allo SIA, e i valori prodotti dalle nuove turbine in modalità standard (Mode 0) e a ridotta emissione sonora (Mode 2).

[10] Le coordinate degli aerogeneratori (Gauss Boaga, UTM WGS84) sono le seguenti: aerogeneratore 1 - E = 492337 N = 4940211 (Comune Voltaggio), aerogeneratore 2- E = 492414 N = 4940498 (Comune Voltaggio), aerogeneratore n° 3- E = 492568 N = 4940733 (Comune Ronco Scrivia)

Tabella 22 – Confronto tra le previsioni modellistiche negli assetti a 10 e a 3 macchine – Velocità di riferimento: 8 m/s a 10 m dal suolo.

Punto di calcolo	N° 10 turbine da 850 kW	N° 3 turbine Vestas V112- 3.0	
	Dati pregressi (S.I.A.) Potenza sonora 106.5 dB(A)	Potenza sonora 106.5 dB(A) Mode 0	Potenza sonora 102.8 dB(A) Mode 2
R01	41.6	**34.5**	**30.8**
R02	41.4	**34.3**	**30.6**
R03	40.9	**35.9**	**32.2**
R04	40.7	**35.6**	**31.9**
R05	41.1	**35.8**	**32.1**
R06	44.2	**44.6**	**40.9**
R07	44.3	**44.9**	**41.2**
R08	43.6	**45.4**	**41.7**
R09	44.1	**44.6**	**40.9**
R10	40.4	**40.2**	**36.5**
R11	41.9	**42.3**	**38.6**
R12	39.9	**41.5**	**37.8**
R13	41.0	**41.3**	**37.6**
R14	40.7	**41.8**	**38.1**
R15	40.1	**40.6**	**36.9**
R16	38.3	**39.2**	**35.5**
R17	43.8	**43.4**	**39.7**
R18	41.8	**41.1**	**37.4**
R19	40.6	**33.8**	**30.1**
R20	37.8	**33.6**	**29.9**

Come si può notare, alla velocità di riferimento (8 m/s a 10 m), rispetto alla soluzione con n° 10 macchine, la configurazione impiantistica con turbina da 3.0 MW risulta più rumorosa per i ricettori R06÷R09, R11, R13÷R17. Con la soluzione a bassa emissione sonora, il livello calcolato sui ricettori con soluzione a n°3 aerogeneratori risulta ovunque minore del rispettivo valore con n° 10 macchine.